



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA**

**TEMA:**

**Estudio de un sistema de puesta a tierra por medio de Software CYMGRD para aterrizar los equipos primarios de una subestación 20 MVA DE 69 /13.8 KV ubicada en el sector Los Bancos del cantón Yaguachi**

**AUTORES:**

**García Rivas Rangel Abdías  
Vera Vera José Andrés**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TUTOR:**

**Ing. Bonilla Sánchez Ronnie Alexander**

**Guayaquil, Ecuador**

**18 de junio de 2024**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por: **García Rivas Rangel Abdías y Vera Vera José Andrés** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrica**.

**TUTOR (A)**

---

**Ing. Bonilla Sánchez Ronnie Alexander**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Msc**

Guayaquil, 18 de junio del 2024



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **García Rivas Rangel Abdías y Vera Vera José Andrés.**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación “**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR MEDIO DE SOFTWARE CYMGRD PARA ATERRIZAR LOS EQUIPOS PRIMARIOS DE UNA SUBESTACIÓN 20 MVA DE 69 /13.8 KV UBICADA EN EL SECTOR LOS BANCOS DEL CANTÓN YAGUACHI**”. En la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la UCSG, previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil al 18 día del mes de junio del 2024.

AUTOR(ES):

f.: \_\_\_\_\_

García Rivas Rangel Abdías

f.: \_\_\_\_\_

Vera Vera José Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **García Rivas Rangel Abdías y Vera Vera José Andrés.**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR MEDIO DE SOFTWARE CYMGRD PARA ATERRIZAR LOS EQUIPOS PRIMARIOS DE UNA SUBESTACIÓN 20 MVA DE 69 /13.8 KV UBICADA EN EL SECTOR LOS BANCOS DEL CANTÓN YAGUACHI.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

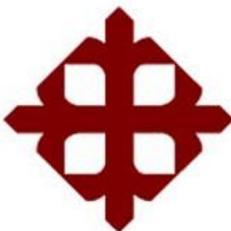
Guayaquil al 18 día del mes de junio del 2024

EL AUTOR 1:

f.: \_\_\_\_\_  
García Rivas Rangel Abdías

EL AUTOR 2:

f.: \_\_\_\_\_  
Vera Vera José Andrés



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA

### REPORTE COMPILATIO

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

**TESIS 24-08-2024-  
RA.MATRIZ.05TESTPLAG**

**4%** Textos sospechosos

- 4% Similitudes  
+ 1% similitudes entre comillas  
2% entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos (ignorados)
- 10% Textos potencialmente generados por la IA (ignorados)

Nombre del documento: TESIS 24-08-2024-RA.MATRIZ.05TESTPLAG.docx  
ID del documento: 4046a2b335215b19c5733ba1556fc0574924791  
Tamaño del documento original: 1,29 MiB  
Autores: []

Depositante: Alejandro Ronald Mora Velás  
Fecha de depósito: 24/8/2024  
Tipo de carga: inCofee  
Fecha de fin de análisis: 24/8/2024

Número de palabras: 32.675  
Número de caracteres: 132.511

Ubicación de las similitudes en el documento:

**Fuentes principales detectadas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Detos adicionales
1	TESIS_OODY_RAMRES_editado_miercoles (1)-3.docx   TESIS_OODY_RAML... 7 Fuentes similares	2%		(1) Palabras idénticas: 2% (427 palabras)
2	com.ac.uk https://ora.uct.ac.uk/bitstream/10344/676/1/1-UCSS-1967-TC-030-02.pdf 14 Fuentes similares	2%		(1) Palabras idénticas: 2% (270 palabras)
3	dapace.upa.edu.ec http://repositorio.upa.edu.ec/bitstream/123456789/105/1/UPS-CT001926.pdf 7 Fuentes similares	2%		(1) Palabras idénticas: 2% (270 palabras)
4	201_159_223_190 http://201.159.223.190/bitstream/2017/7756/1/1-UCSS-1967-TC-030-02.pdf 7 Fuentes similares	1%		(1) Palabras idénticas: 1% (276 palabras)
5	repositorio.uct.edu.ec http://repositorio.uct.edu.ec/bitstream/27000/1306/3/1-UC-2048.pdf.pdf 12 Fuentes similares	1%		(1) Palabras idénticas: 1% (214 palabras)

**Fuentes con similitudes fortuitas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Detos adicionales
1	mundialelectro.com   Sistemas De Puesta A Tierra IT Y TT, Diferencias, Ventajas, Des... https://mundialelectro.com/sistemas-de-puesta-a-tierra-it-y-tt-diferencias-ventajas-desventajas/	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
2	repositorio.uct.edu.ec http://repositorio.uct.edu.ec/bitstream/27000/7926/3/1-001736.pdf.pdf	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
3	repositorio.uct.edu.ec https://repositorio.uct.edu.ec/bitstream/123456789/15628/0/04-01-024-TRABAJO-DE-GRADO.pdf	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	repositorio.upa.edu.ec https://repositorio.upa.edu.ec/bitstream/146205/7081/1/UPSA-IFP-2023-0004.pdf	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
5	dapace.upa.edu.ec http://dapace.upa.edu.ec/bitstream/123456789/2098/1/1-UPS-CT001949.pdf	< 1%		(1) Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)

**Fuentes ignoradas** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Detos adicionales
1	TESIS 23-08-2024-RA.MATRIZ.05.docx   TESIS 23-08-2024-RA.MATRIZ.03 #02407 C: documento propio de mi biblioteca de referencias	96%		(1) Palabras idénticas: 96% (19.855 palabras)
2	TESIS 23-08-2024-RA (2da-Edi) - Edición   TESIS 23-08-2024-RA (2da-Edi) #02416 C: documento propio de mi biblioteca de referencias	87%		(1) Palabras idénticas: 87% (18.243 palabras)
3	TITULACIÓN-MATRIZ.21.08.2024.docx   TITULACIÓN-MATRIZ.21.08.2024 #02206 C: documento propio de mi biblioteca de referencias	75%		(1) Palabras idénticas: 75% (15.503 palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.ansl.org/about-us/>
- <https://doi.org/10.15175/ve.2018.144.69-76>
- <https://www.fulcr.com/ica-ec/informacion/blog/la-estrategia-comprobacion-de-la-impedancia-del-cableado-de-sensacion-a-tierra-en-edificios-comerciales-industriales-y-res...>

f.: \_\_\_\_\_  
Ing. Ricardo Xavier Ubilla GonzálesG

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a las personas que son relevantes en mi existencia:

A Dios, que me brinda la vida, la salud para conquistar y vencer las adversidades cotidianas de cada día.

Al MSc. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ing., por su invaluable motivación, a ser un profesional altamente comprometido y hacer las cosas eficientemente, agradezco esa amistad que se formó en esta trayectoria de formación profesional.

Al Ingeniero Ronnie Alexandre Bonilla Sánchez por su invaluable orientación y apoyo a lo largo de este arduo proceso de investigación, su experiencia y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de esta tesis.

A mis compañeros tanto al de tesis como con los que iniciamos y, hoy en día estamos terminando este nuevo logro académica en nuestras vidas, que dará un cambio en un futuro no muy lejano.

Rangel Abdías García Rivas

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a las personas que son fundamentales en mi vida:

A Dios, por guiarme con su luz y fortaleza a lo largo de este camino. Su presencia constante en mi vida ha sido la fuente de inspiración y serenidad que necesitaba para culminar este importante proyecto.

A mi esposa, por todo su amor incondicional, por tener la paciencia y su gran ayuda en todo sentido

A mis hijos, que alegran mis días y al verlos me llenan de fuerzas para seguir adelante.

A mi mamá, por todo su amor depositado en mí a lo largo de este desarrollo académico.

A mis hermanos, por su apoyo sin límites, sus nobles consejos y los ánimos que me transmiten.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro es también fruto de su amor y apoyo.

José Andrés Vera Vera

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto a cada una de las personas involucradas directa e indirectamente quienes dieron su guías, experiencias, sugerencias y apoyo.

A Dios, que me brinda la vida, la salud para conquistar y vencer las adversidades cotidianas de cada día.

A mis padres, por su apoyo incondicional quienes son mi pilar fundamental, guía con sus ejemplos en cada etapa de mi crecimiento y formación académica.

A mis hijos, por el apoyo con la alegría que me transmiten y generan esa buena actitud para salir adelante a ser un excelente profesional honesto y productivo ante la sociedad.

Rangel Abdías García Rivas

## DEDICATORIA

A Dios, cuyo amor y guía han sido la luz que ilumina cada sendero que recorro, en cada desafío, su presencia ha sido mi fortaleza.

A mi esposa, cuya fe en mí y su amor inquebrantable han sido el anhelo constante de seguir adelante. Gracias por ser mi compañera en cada paso de este viaje.

A mis hijos, que con su risa y alegría me recuerdan cada día el propósito y la razón de mi esfuerzo. Ustedes son mi mayor inspiración y orgullo.

A mi madre, cuyos sacrificios y enseñanzas han forjado el carácter que me ha llevado hasta aquí. Tu amor ha sido el cimiento sobre el cual construyo mis sueños.

A mi hermano, por ser el soporte constante en cada etapa de mi vida, y por su aliento que me ha acompañado en este camino.

A mi hermana, que ahora descansa en la paz de Dios; su memoria vive en mi corazón, cada paso que doy es un tributo a su espíritu y al amor que compartimos, esta dedicación es para ti, que siempre fuiste una guía y un faro en mi vida.

Por cada uno de ustedes, he tomado este gran paso y perseguido este sueño.

Gracias por ser la inspiración y el respaldo que necesito para seguir adelante.

José Andrés Vera Vera



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**ING. JOHN ELOY FRANCO RODRIGUEZ, Ph.D.**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**MSc. UBILLA GONZALEZ RICARDO XAVIER**  
COORDINADOR DEL ÁREA DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**Mgrtr. JACINTO ESTEBAN GALLARDO POSLIGUA, Ing.**  
OPONENTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICA**

**CALIFICACIÓN**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIX
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN GENERAL .....	3
<b>1.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Objetivos .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.1 Objetivo General.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.6 HIPÓTESIS.....</b>	<b>5</b>
<b>1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
CAPÍTULO II.....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. EN SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES Y COMERCIALES ..</b>	<b>9</b>
<b>2.3. LA APLICACIÓN DEL SISTEMA CYMGRD .....</b>	<b>10</b>
2.3.1. Funciones analíticas .....	10
2.3.2. Resistividad del suelo.....	11
2.3.3. Factores que afectan la resistividad del suelo .....	12
2.3.4. Composición del terreno .....	14
2.3.5. Comportamiento eléctrico del suelo .....	14
2.3.7. Consideraciones para la medición del suelo .....	16

<b>2.4. DEFINICIONES</b> .....	17
2.4.1. Sistema de aterrizaje o puesta a tierra .....	17
2.4.2. Tierra .....	17
2.4.3 Conductor de puesta tierra .....	17
2.4.4 Resistividad del suelo .....	17
2.4.5 Resistividad aparente .....	18
2.4.6. Resistencia mutua entre electrodos .....	18
2.4.7. Potencial eléctrico .....	18
2.4.8. Tierra remota .....	19
<b>2.5. PRINCIPIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA</b> .....	19
2.5.1. La primera es establecer conexiones equipotenciales .....	20
2.5.2. La segunda función de un sistema de puesta a tierra .....	20
<b>2.6. COMPOSICIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA</b> .....	20
<b>2.7. MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA</b> .....	22
2.7.1. Sistema no aterrizado .....	22
2.7.2. Sistema aterrizado .....	24
2.7.3. Sistema de puesta a tierra mediante impedancia .....	24
2.7.4 Sistema de puesta a tierra con baja impedancia (sólidamente puesto a tierra) 25	
2.7.5 Sistema puesta a tierra para sistemas de bajo voltaje en el interior de locales 25	
<b>2.8. TIPOS DE SISTEMA</b> .....	25
<b>2.8.1. TN-S:</b> .....	26
<b>2.8.3. TN-C-S:</b> .....	26
<b>2.8.3. PNB:</b> .....	27
<b>2.8.4. TT:</b> .....	27
<b>2.8.5. IT:</b> .....	28
<b>2.9. CONDUCTORES DE TIERRA</b> .....	29

2.9.1. CONDUCTORES DE PROTECCIÓN Y DE CIRCUITO .....	29
2.9.2. CONDUCTORES DE CONEXIÓN .....	29
2.9.2.1. CONDUCTORES DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL PRINCIPALES.....	29
2.9.2.2. CONDUCTORES DE CONEXIÓN SUPLEMENTARIOS .....	30
2.10. ELECTRODOS DE TIERRA.....	30
2.11. BARRAS O ELECTRODO VERTICAL (PICAS) .....	31
CAPÍTULO III.....	32
3. GENERALIDADES.....	32
3.1 LAS NORMAS.....	32
3.2. NORMATIVA IEEE 80.....	32
3.3. IMPORTANCIA DE LA GUÍA.....	33
3.4. OBJETIVO .....	34
3.5. ASPECTOS CLAVES DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA SEGÚN IEEE 80.....	34
3.5.1. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE ELECTRODOS .....	34
3.5.2. ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD DEL SUELO .....	35
3.5.3. SEGURIDAD Y PROTECCIÓN-PREVENCIÓN DE RIESGOS ELÉCTRICOS.....	35
3.5.4. CÁLCULO DE POTENCIALES DE PASO Y CONTACTO .....	37
3.5.5. MANTENIMIENTO Y VERIFICACIÓN .....	37
3.6. APLICACIONES DE LA NORMA IEEE-80 EN SUBESTACIONES EXTERIORES E INTERIORES.....	39
3.7. EXCLUSIONES.....	39
3.8. DESARROLLO DE NORMAS .....	39
3.9. NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN (NEC) .....	39
3.9.1. IMPORTANCIA DE LA NEC.....	40
3.9.2. OBJETIVO DE LA NEC.....	40

<b>3.9.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA NEC</b> .....	40
3.10. LA NORMATIVA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN APLICADA AL ÁMBITO ELÉCTRICO .....	41
3.11. CIRCUITOS .....	42
3.12. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA .....	43
<b>3.12.1. CONCEPCIONES GENERALES</b> .....	43
<b>3.12.2. CARACTERÍSTICAS</b> .....	43
<b>3.12.3. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS PUESTAS A TIERRA</b> .....	44
<b>3.12.4. FUNCIONES DE LOS SISTEMAS PUESTAS A TIERRA</b> .....	44
3.13. TENSIÓN DE CONTACTO QUE UN SER HUMANO PUEDE EXPERIMENTAR EN CASO DE FALLA A TIERRA .....	45
<b>3.13.1. Análisis</b> .....	46
<b>3.13.2. Exigencias generales</b> .....	46
3.14. INCIDENCIA DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ÁMBITO ELÉCTRICO .....	47
3.15. ANSI -PUESTA A TIERRA .....	48
<b>3.15.1. EL ROL DE ANSI EN LAS NORMAS VOLUNTARIAS</b> .....	48
<b>3.15.2. EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD</b> .....	48
<b>3.15.3. EL ROL DE ANSI EN LAS NORMAS INTERNACIONALES</b> .....	49
3.16. DESARROLLO Y COORDINACIÓN DE NORMAS POR ANSI .....	50
3.16.1. COORDINACIÓN Y FACILITACIÓN .....	50
3.16.2. FUNCIONES PRINCIPALES DE ANSI: .....	50
3.16.3. NORMAS RELEVANTES PARA LA PUESTA A TIERRA .....	50
3.17. MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA .....	51
<b>3.17.1. CON PLACA</b> .....	51
<b>3.17.2. CON VARILLA (ELECTRODO)</b> .....	52
<b>3.17.3. CON TUBERÍA</b> .....	52
<b>3.17.4. CON BANDAS O FLEJES</b> .....	52

<b>3.17.5. MALLA DE PUESTA A TIERRA</b> .....	52
<b>3.17.6. PUESTA A TIERRA CON COMPONENTES QUÍMICOS</b> .....	52
3.18. DIFERENTES MATERIALES PARA LA PUESTA A TIERRA EN EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN .....	53
<b>3.18.1. CONECTORES Y ACCESORIOS DE TIERRA</b> .....	54
CAPÍTULO IV: CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA SUBESTACIÓN .....	55
4. GENERALIDADES.....	55
<b>4.1 CÁLCULOS</b> .....	55
<b>4.2. CORRIENTE EN LA MALLA SUBESTACIÓN</b> .....	55
<b>4.3. CÁLCULO DEL CONDUCTOR Y MALLA DE TIERRA</b> .....	57
<b>4.4. POTENCIAL MÁXIMO DE LA MALLA, GPR</b> .....	59
<b>4.5. CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE TOQUE Y DE PASO</b> .....	60
4.5.1 Cálculo de la tensión de toque .....	60
4.5.2 Cálculo de la tensión de paso.....	62
4.5.3. LÍMITES DE TENSIÓN DE TOQUE Y DE PASO .....	63
CAPITULO V: RESISTIVIDAD DE TIERRA SUBESTACIÓN.....	65
5. RESISTIVIDAD DE TIERRA SUBESTACIÓN TAURA CAMARONEROS .....	65
<b>5.1. GENERALIDADES</b> .....	65
<b>5.2 DEFINICIONES</b> .....	65
<b>5.3. ASPECTOS TÉCNICOS</b> .....	65
<b>5.3.1. SUELO</b> .....	65
CAPITULO VI: MECANISMOS A EMPLEARSE .....	67
<b>6.1. METODOLOGÍA</b> .....	67
<b>6.2. MÉTODO DE WENNER</b> .....	67
<b>6.3. PROCEDIMIENTO</b> .....	67
<b>6.4. PROTOCOLO DE PRUEBA</b> .....	68
<b>6.5. PRUEBA DE RESISTIVIDAD SUBESTACIÓN LOS BANCOS</b> .....	68

6.6.	LUGAR EN ESTUDIO SECTOR MONTERO 2 .....	69
6.7.	PUNTOS GEOREFERENCIADOS EN COORDENADAS UTM DE LOS PERFILES .....	69
6.8.	RESULTADOS.....	70
6.9.	GRÁFICOS .....	70
	CAPÍTULO VII ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
7.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS 1 .....	72
7.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS 2.....	72
7.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
8.	ANEXOS.....	74
8.1.	LUGAR DE MEDICIÓN DEL TERRENO.....	74
8.2.	HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO .....	75
8.3.	MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO .....	76
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Valores De Resistividad Orientativos De Diferentes Tipos De Terrenos, Obtenida De La MIERAT</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Valores Máximos De Tensión De Contacto En Relación Con Una Persona</i> .....	45
<b>Tabla 3</b> <i>La Asimetría De Los Valores Típicos De <math>D_f</math></i> .....	56
<b>Tabla 4</b> <i>Información Del Terreno</i> .....	56
<b>Tabla 5</b> <i>Conductor de Malla Puesta a Tierra</i> .....	58
<b>Tabla 6</b> <i>Calibre De Conductores</i> .....	58
<b>Tabla 7</b> <i>Medidas De Malla De Puesta A Tierra</i> .....	59
<b>Tabla 8</b> <i>Potencial Máximo de malla GPR</i> .....	60
<b>Tabla 9</b> <i>Tensión De Toque</i> .....	62
<b>Tabla 10</b> <i>Tensión De Paso</i> .....	63
<b>Tabla 11</b> <i>Tensiones Máximas Tolerables</i> .....	64
<b>Tabla 12</b> <i>Tabla De Protocolos de Pruebas</i> .....	68
<b>Tabla 13</b> <i>Tabla De Prueba De Resistividad De La Subestación Los Bancos</i> .....	68
<b>Tabla 14</b> <i>Coordenadas UTM De Los Perfiles</i> .....	69

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1</b> Elemento Constituido De Puesta A Tierra O Sistema De Aterrizaje .....	21
<b>Figura 2</b> Sistema Alimentación Trifásico Balanceado Corrientes Capacitivas .....	23
<b>Figura 3</b> Sistema de Aterrizaje Único .....	26
<b>Figura 4</b> Conexión De Aterrizaje De Equipos A Un Punto De Tierra Firme Referencial.....	27
<b>Figura 5</b> Sistema De Aterrizaje De Usuario En Punto De Conexionado Referencial .....	27
<b>Figura 6</b> Sistema De Aterrizajes Independientes-Conexionado Sin Punto Referencial.....	28
<b>Figura 7</b> Sistema De Aterrizaje Con Conexión De Alta Impedancia En Sistemas Independientes .....	28
<b>Figura 8</b> Esquema De Capas Con Diferentes Resistividades .....	66
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama Del Método De Wenner</i> .....	67
<b>Figura 10</b> Lugar De Estudio-Sector Montero .....	69
<b>Figura 11</b> <i>Perfiles De Resistividad Para Ejes De Medición LOS BANCOS</i> .....	70
<b>Figura 12</b> Resistividad Promedio.....	71

## RESUMEN

El diseño y el análisis de un sistema de puesta a tierra para una subestación eléctrica de 20 MVA en el sector LOS BANCOS del cantón Yaguachi, que opera a 69/13.8 kV, son el tema de este estudio. El objetivo de la investigación es modelar y optimizar un sistema de aterrizaje utilizando el software CYMGRD para ofrecer una protección efectiva contra fallas eléctricas y descargas atmosféricas.

Se llevará a cabo una evaluación completa de las características geotécnicas del terreno para mejorar el diseño del sistema. Esto incluirá mediciones precisas de la resistividad del suelo. Para garantizar que el sistema cumpla con las normas nacionales e internacionales pertinentes, esta evaluación permitirá simular una variedad de condiciones operativas y de falla.

La simulación con CYMGRD permitirá modelar y comprobar el desempeño del sistema en una variedad de escenarios operativos y de fallas, garantizando el cumplimiento de las normativas locales e internacionales.

Este método asegurará la protección adecuada de los equipos, la seguridad del personal y la continuidad del servicio eléctrico.

Además, el estudio analizará los efectos del sistema de puesta a tierra en un entorno cercano, considerando posibles repercusiones en un extenso tiempo debido al estudio del análisis.

**Palabras claves:** sistema de puesta a tierra, subestación eléctrica, CYMGRD, 20 MVA, 69/13.8 kV, características geotécnicas, resistividad del suelo, seguridad personal.

## ABSTRACT

The design and analysis of a grounding system for a 20 MVA electrical substation in the LOS BANCOS sector of the Yaguachi canton, which operates at 69/13.8 kV, are the subject of this study. The objective of the research is to model and optimize a landing system using CYMGRD software to offer effective protection against electrical faults and lightning strikes.

A complete evaluation of the geotechnical characteristics of the terrain will be carried out to improve the system design. This will include accurate measurements of soil resistivity. To ensure that the system complies with relevant national and international standards, this evaluation will allow a variety of operating and fault conditions to be simulated.

Simulation with CYMGRD will allow system performance to be modeled and tested in a variety of operational and failure scenarios, ensuring compliance with local and international regulations.

This method will ensure adequate protection of equipment, safety of personnel, and continuity of electrical service.

In addition, the study will analyze the effects of the grounding system in a nearby environment, considering possible repercussions over an extended time due to the study of the analysis.

**Keywords:** grounding system, electrical substation, CYMGRD, 20 MVA, 69/13.8 kV, geotechnical characteristics, soil resistivity, personal safety.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de puesta a tierra son esenciales para proteger a las personas y la integridad de los equipos eléctricos y electrónicos. Estos sistemas garantizan el funcionamiento adecuado del sistema eléctrico al conectar varios componentes a tierra en diferentes etapas de la infraestructura.

En la etapa de distribución, los sistemas de puesta a tierra conectan las cargas de los clientes a tierra. Los equipos primarios y secundarios aterrizan en las subestaciones. Estos sistemas garantizan el aterrizaje de postes y torres de alta y extra alta tensión durante la transmisión de energía. Además, en las edificaciones, las estructuras metálicas se conectan a tierra mediante lo que se conoce como malla estática.

Según el Atlas de Ecuador, las empresas distribuidoras que operan bajo esta institución gestionan un total de 545 subestaciones, que incluyen reductoras, generadoras, transmisoras y distribuidoras. Estas subestaciones tienen una carga total combinada de 26,759.69 MVA y una potencia nominal de 8,712.29 MW, con una potencia efectiva de 8,095.25 MW.

Estos datos resaltan la importancia de contar con sistemas de puesta a tierra adecuados. Las subestaciones, aunque son secundarias en el esquema eléctrico, juegan un papel crucial al elevar el voltaje de los sistemas generadores. La generación eléctrica en sistemas no renovables alcanza los 3,413.21 MW, mientras que en los sistemas renovables se llega a los 5,229.09 MW.

Estas estadísticas demuestran la importancia de contar con sistemas de puesta a tierra eficientes. Para proteger los equipos y garantizar la estabilidad de la red eléctrica, es esencial implementar dichos sistemas de manera adecuada.

Para proteger los equipos y garantizar la estabilidad de la red eléctrica, es esencial implementar dichos sistemas de manera adecuada. Su objetivo principal es garantizar un funcionamiento seguro y eficiente al evitar una mala puesta a tierra.

## **CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN GENERAL**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La seguridad y funcionalidad de los sistemas eléctricos dependen en gran medida de un diseño eficaz de la puesta a tierra, que previene fallos y protege tanto a los equipos como al personal. En este contexto, el presente estudio se enfoca en el análisis del sistema de puesta a tierra para una subestación con una capacidad de 20 MVA y una tensión de 69/13.8 kV. Este análisis se lleva a cabo mediante el uso del software CYMGRD, una herramienta especializada en la simulación y optimización de sistemas de aterrizaje.

La subestación objeto de estudio está ubicada en el área LOS BANCOS del cantón Yaguachi. El objetivo principal del análisis es comprobar de que los equipos principales de la subestación estén conectados a tierra de solución adecuada para lograr con los requisitos operativos y de seguridad. La misión del software CYMGRD es modelar y evaluar el sistema de puesta a tierra para comprobar su eficacia en un distinto de condiciones de operación.

Este sistema amerita usarse eficazmente para proteger la estabilidad y protección de la infraestructura eléctrica de la subestación. El análisis exhaustivo tiene como objetivo establecer una operación segura y constante del sistema eléctrico en la región del cantón Yaguachi, además de cumplir con las normativas locales e internacionales.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los equipos de medición y protección en alta y baja tensión en la subestación son cruciales para mitigar el impacto de descargas atmosféricas y fallas por corrientes elevadas, que pueden surgir a partir de fallas eléctricas en líneas de distribución y subtransmisión.

Como tal, estos equipos desempeñan un papel esencial en la prevención de accidentes graves que podrían comprometer tanto la operatividad del sistema eléctrico como la seguridad del personal operativo.

Estos parámetros eléctricos considerados en el flujo de corriente ante descargas eléctricas tipo súbitas son considerados de orden prioritario parra

dimensionamiento de equipos de potencia, transferencia de energía en alta Tensión y sistema de reducción de voltaje dependiendo del tipo de carga a suministrar.

El sistema de puesta a tierra que se diseñará tomará como base las características de equipos de potencia a implementar, así como tipo de terreno en cumplimiento de la normativa eléctrica vigente esta la IEEE 80-2000 la aplicación de la misma asegura un conexionado seguro entre un sistema de aterrizaje y carcasas de equipos de potencia.

El diseño de este sistema garantizará una conducción segura de corriente en caso de fallas graves y descargas repentinas a tierra en la subestación. La subestación estará dimensionada para equipos de alta tensión operando a 69 kV y contará con una Bahía tipo Tap de Barra, configurada con tres disyuntores: uno para la protección del transformador de 18/24 MVA, uno para la entrada de energía y otro para la salida hacia una subestación aguas abajo.

Además, se integrarán equipos de media tensión tipo celda con una capacidad de 20 MVA, iniciando con una carga de 12 MVA y proyectados para un crecimiento en los próximos 10 años.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Debido a la insuficiente infraestructura eléctrica y al dimensionamiento de la carga para usuarios residenciales y comerciales en niveles de baja, media y alta tensión, Corporación Nacional Eléctrica de Milagro ha decidido construir un centro de transformación dimensionado para una carga actual de 12 MW.

Es indispensable proceder un análisis riguroso en este contexto para diseñar un sistema de puesta a tierra que sea capaz de supervisar las corrientes de cortocircuito provocadas por fallas en las líneas de subtransmisión y distribución y asegurar contra descargas atmosféricas.

El sistema de puesta a tierra de la subestación reductora debe tener construido de concordancia con la Norma IEEE 80-2000, abarcando la selección de electrodos, la disposición geométrica, el diseño estructural, el tratamiento del terreno y la ubicación de los conductores de tierra.

## **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son los parámetros técnicos y económicos necesarios para el diseño óptimo de un sistema de aterrizaje en una subestación eléctrica tipo reductora, considerando la capacidad de carga del sistema de potencia en alta y media tensión?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de aterrizaje para una subestación eléctrica, dimensionado para soportar una carga de 20 MW, en estricta conformidad con la normativa eléctrica vigente en Ecuador.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

Asegurar un diseño eficiente del sistema de puesta a tierra que optimice la dispersión de las corrientes de falla, evaluar la resistividad del suelo en el sitio de instalación de la subestación eléctrica con equipos especializados.

Evaluar las características geotécnicas del suelo en el que se ubicará la subestación eléctrica para asegurar un diseño adecuado del sistema de aterrizaje.

Simular el diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación, a través del software CYMGRD para comprobar de que cumpla con la normativa internacional IEEE 80-2000 y proporcione un nivel adecuado de protección y seguridad.

## **1.6 HIPÓTESIS**

Este estudio, diseño y dimensionamiento del sistema de aterrizaje para la subestación LOS BANCOS permitirá prevenir consecuencias graves asociadas a un mal dimensionamiento del sistema de puesta a tierra durante fallas eléctricas, garantizando así la seguridad de los operarios y la continuidad del servicio para los equipos de telecomunicaciones en una subestación con carga de 20 MW.

## **1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La metodología empleada para el presente trabajo de investigación está dada en:

**Descriptiva:** se proporciona una descripción detallada de los hechos relevantes del problema en estudio, recopilando información exhaustiva sobre los

antecedentes del tema. Esto incluye investigaciones previas sobre el diseño y construcción de sistemas de puesta a tierra conforme a la norma IEEE 80-2000, así como estudios académicos relacionados que establecen el contexto y fundamento necesario para la investigación actual. (Guevara Albán, Verdesoto Arguello, & Castro Molina, 2020)

**Cuantitativa:** basado en las mediciones y el procesamiento de la información recopilada, se empleará un enfoque cuantitativo para proporcionar una explicación detallada y fundamentada del método científico a seguir. Este enfoque se centra en el uso de datos numéricos para esclarecer y justificar las técnicas y procedimientos más adecuados para la investigación. (Hernández-Sampieri, Fernández Collado, & Batista Lucio, 2014)

Al utilizar valores cuantitativos, se pretende ofrecer una perspectiva clara y precisa que respalde la elección del método científico, asegurando así la validez y rigor del estudio. (Cadena-Iñiguez, y otros, 2017)

**Cualitativa:** para considerar las opiniones y perspectivas del personal y usuarios involucrados, recopilando sus experiencias y percepciones sobre los hechos descritos. (Corona Lisboa, 2018)

**No experimental:** las variables medidas en el estudio no se alterarán; es decir, la información recopilada se mantendrá sin modificaciones a menos que se realice algún experimento específico que justifique cambios. (Hernández-Sampieri, Fernández Collado, & Batista Lucio, 2014)

**Analítica-sintética:** se realiza un análisis detallado y una evaluación de factibilidad para identificar las mejores opciones en el diseño de un sistema aterrado una subestación reductora. Esta estrategia divide el problema en partes, busca soluciones eficientes y presenta las mejores variantes, lo que garantiza un diseño eficiente y funcional. (Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto, 2017)

**Bibliográfica:** comprende estudios e investigaciones académicos, así como artículos científicos, libros y tesis. Al recurrir a trabajos anteriores que ofrecen conocimiento y contexto relevantes para la investigación actual, este enfoque

proporciona una base sólida y fundamentada. (Gómez-Luna, Fernando-Navas, Aponte-Mayor, & Betancourt-Buitrago, 2013)

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

Los sistemas eléctricos en diferentes tipos de voltaje deben tener una referencia específica para su óptima operación, estas referencias eléctricas son denominados sistemas de aterrizaje o puestas a tierra, este sistema es importante el punto de conexión de carcasas de todos los equipos eléctricos.

Como tal deben ser diseñados para protección eléctrica ante sobrecorrientes generadas por fallas en sistemas de redes de conducción como también para sobretensiones generadas por descargas atmosféricas, este diseño debe ser idóneo en cualquiera de las etapas de los sistemas eléctricos estos son: Generación, transporte o transmisión, distribución y entrega o comercialización.

La modernización y tecnologías aplicadas en los sistemas de potencia ha sido muy controversial, pero al mismo tiempo muy acogedora en los últimos años ya que permite realizar simulaciones de diseños predeterminados y estructurales efectuando un análisis de efectos y consecuencias de los posibles errores que puede suceder en caso de implementación, previene mal dimensionamiento.

Con este software de diseño facilita el control y seguimiento estructural de un proyecto como es en este caso los sistemas de aterrizaje mismos que deben cumplir con la normativa eléctrica existente vigente en Ecuador garantizando la confiabilidad y continuidad de los sistemas de potencia.

A través de la ejecución del proyecto, podremos clarificar los conceptos, necesidades e importancia del diseño adecuado de un sistema de puesta a tierra para una subestación eléctrica, basándonos en el diseño estructural, la configuración eléctrica ortogonal y el dimensionamiento de la carga, todo en cumplimiento con la norma IEEE 80.

La norma IEEE 80 ofrece directrices y parámetros eléctricos precisos para garantizar una adecuada dispersión de corrientes de fuga o fallas. Esta canalización hacia la tierra protege la infraestructura, preservando equipos de computación, redes operativas y sistemas de potencia.

Los sistemas de aterrizaje o también conocidos como puesta a tierra son las uniones francas de caracas de equipos o componentes de un sistema eléctrico conectados a tierra, esta conexión está realizada por medio de conductores de electricidad dimensionados en base a la carga.

El parámetro eléctrico de mayor importancia es la oposición eléctrica al paso de corriente es decir la capacidad de resistir al paso de electrones para nuestro caso es la oposición al flujo de electrones derivados por corrientes de fuga u corrientes de alta densidad como las generadas por descargas súbitas por fallas atmosféricas u eléctricas esta capacidad de oposición es denominada "Resistencia de Puesta a Tierra" (RPT).

Los parámetros eléctricos como la resistencia, la capacitancia y la inductancia influyen la efectividad de los sistemas de puesta a tierra, también denominados sistemas de aterrizaje, para dispersar el flujo de electrones hacia el suelo. En términos prácticos, esto sugiere que la resistencia al aterrizaje debe comprobarse como una impedancia de aterrizaje, que puede ser alta o baja según las condiciones y exigencias del sistema.

Para los sistemas eléctricos que cuentan con bajas frecuencias, bajas corrientes y pequeños valores de resistivos, el efecto capacitivo y de ionización del suelo se comporta como una resistencia pura.

Así mismos casos de sistemas eléctricos de fuerza considerados de altas frecuencias, se debe considerar el efecto capacitivo, principalmente en suelos de alta resistividad.

En descargas atmosféricas, las ondas de sobre voltaje de efecto ambiental de tipo rayo son opuestas por la reactancia inductiva de los puntos de conexasión al dispersarse a tierra.

## **2.2. EN SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES Y COMERCIALES**

Las principales características de operación y funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra incluyen:

- La intención para el que se construye el sistema de puesta a tierra.
- La función específica que desempeña.
- Los parámetros necesarios para asegurar un funcionamiento apropiado.

Básicamente un sistema de puesta a tierra tiene varios objetivos específicos que abarcan diferentes áreas. Sus fines principales incluyen la protección de vidas al reducir las diferencias de potencial entre partes no conductoras y el suelo, así como la protección de equipos contra sobretensiones al desviar la corriente de componentes metálicos.

Además, el control de sobrevoltajes es crucial para mantener la integridad de los sistemas eléctricos. (Beltrán Espinoza & Luna López, 2023)

### **2.3. LA APLICACIÓN DEL SISTEMA CYMGRD**

Este software está concebido para el análisis y diseño de redes de puesta a tierra en las subestaciones, facilitando la optimización de nuevos diseños de mallas y la mejora de las existentes, sin importar su geometría, gracias a sus sencillas funciones para identificar puntos críticos.

Su interfaz junto con sus algoritmos eficientes y capacidades gráficas, convierte a CYMGRD en una herramienta valiosa para desarrollar diseños de sistemas de puestas a tierra que sean óptimos tanto desde un punto de vista técnico, como analítico de los proyectos.

El software opera de acuerdo con las normas IEEE 80™ 2000, IEEE 81™ 1983 e IEEE 837™ 2002.

#### **2.3.1. Funciones analíticas**

- Evaluación de elementos para los conductores de la malla de tierra y las varillas.
- Cálculo del potencial de elevación del suelo (GRP) y la resistencia del sistema de tierra ( $R_g$ ).
- Análisis de los potenciales de paso y superficie, tanto dentro como fuera del perímetro de la malla, con representación gráfica en 2D o 3D.
- Estudio de la tensión de paso.

- Modelos de suelo uniforme o en dos capas basados en mediciones de campo o valores proporcionados por el usuario.
- Determinación del factor de ajuste de la superficie (Cs).
- Biblioteca de materiales comúnmente usados para la capa superficial.
- Biblioteca de datos de resistividad del suelo en subestaciones según normativa IEEE 80™.
- Estimación de la seguridad para niveles de tensiones máximas permitidas de paso y contacto, conforme a la norma IEEE 80™ 2000.
- Cálculo del factor de división de corriente (SF) utilizando datos de configuración de la subestación, siguiendo la norma IEEE 80™ 2000.
- Determinación del factor de decremento (DF) basado en el cociente X/R de la barra y la duración de la descarga, de acuerdo con la norma IEEE 80™ 2000.
- Inclusión del componente de corriente continua en el cálculo de la corriente de falla asimétrica.
- Análisis de los electrodos para dimensionar adecuadamente los conductores y varillas, utilizando materiales comunes y cumpliendo con las normas IEEE 80™ 2000 e IEEE 837™ 2002.
- Soporte para mallas simétricas o asimétricas de cualquier configuración.
- Posibilidad de personalizar la ubicación de las varillas de puesta a tierra.
- Capacidad para modelar electrodos de retorno y diferentes tipos de electrodos.
- Opción de modelar varillas de puesta a tierra recubiertas de concreto.
- Cálculo de la corriente máxima admisible de falla monofásica a tierra para una rejilla específica. (Eaton Powering Business Worldwide, 2014)

### **2.3.2. Resistividad del suelo**

Es un parámetro clave en el fenómeno de conducción de corriente a través del suelo y se conoce como la resistencia específica del suelo. Este valor juega un papel crucial en el diseño de sistemas de puesta a tierra. Durante su medición, se consideran los efectos combinados de las distintas capas del suelo en el área de estudio, ya que el suelo no presenta una composición uniforme. Este valor resultante se denomina resistividad aparente.

Por tanto, es fundamental obtener este parámetro con una precisión adecuada, alineada con el conocimiento de otras variables involucradas en el cálculo. Una exactitud del 5% en la determinación de las características del terreno es generalmente suficiente para estos fines.

### **2.3.3. Factores que afectan la resistividad del suelo**

En un medio conductor ideal, homogéneo e isotrópico, la resistividad es constante en cualquier punto y dirección. Sin embargo, en la realidad, es prácticamente imposible considerar un terreno como homogéneo.

La composición natural del suelo, junto con los efectos climáticos, provoca que incluso en terrenos compuestos por un solo tipo de material, la resistividad varía con la profundidad. Las capas superficiales, donde se instalan los sistemas de puesta a tierra, también presentan variaciones y se ven influenciadas por cambios climáticos, lluvias y heladas.

Por lo tanto, la resistencia del suelo fluctúa significativamente entre las ubicaciones y está significativamente influenciada por los siguientes factores del terreno:

**2.3.3.1. Composición del suelo:** La composición química y mineralógica del suelo impacta la resistividad. La capacidad del suelo para conducir electricidad puede mostrarse impactada por la presencia de diferentes materiales y minerales en él, lo que puede provocar variaciones en la resistencia. **(Cordero Vázquez, 2018)**

**2.3.3.2. Concentración de sales solubles:** el tipo de sales solubles existentes en el suelo presentan un efecto relevante en su resistencia. Las sales disueltas en el agua del suelo contribuyen que la corriente eléctrica fluya rápidamente, lo que disminuye la resistividad. (Intagri, 2024)

**2.3.3.3. Humedad:** El nivel de humedad del suelo es vital para su resistencia. Conforme a que el agua facilita la conducción de electricidad, los suelos con mayor contenido de humedad suelen tener una resistividad más baja.

**2.3.3.4. Granulometría:** la resistividad del suelo se ve afectada por el tamaño y la distribución de sus partículas. Los suelos con partículas más finas suelen mostrar una resistencia distinta en comparación con aquellos compuestos por partículas más grandes.

**Tabla 1**

*Valores De Resistividad Orientativos De Diferentes Tipos De Terrenos*

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Resistividad Ohm</b>
Terrenos pantanosos	< 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceo	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterado	100 a 600
Hormigón	2.000 a 3.000
Balasto o grava	3.000 a 5.000

**Nota:** Esta tabla detalla las características particulares en cuanto a la naturaleza del terreno, la resistividad y el comportamiento de los materiales que se empleen frente al paso de la corriente eléctrica. Tomada de "La MIERAT", (Sanz A. & Gómez Estrada, 2010).

**2.3.3.5. Estratigrafía:** la disposición de las diferentes capas del suelo, o estratigrafía, influye en la resistividad. La variabilidad en la composición y

características de las capas del suelo puede afectar cómo se comporta el suelo eléctricamente.

**2.3.3.6. Efecto de la compactación:** el grado de compactación abarca la resistividad del suelo. La capacidad de conducir electricidad del suelo puede observarse limitada por un aumento en la densidad del suelo.

**2.3.3.7. Efecto de la temperatura:** la temperatura afecta la resistividad del suelo. Tanto el calor como el frío pueden modificar la movilidad de los iones y la resistencia general del suelo, influyendo su conductividad.

#### **2.3.4. Composición del terreno**

Esto implica que la resistividad del suelo varía según el tipo de terreno, y es complicado determinar con precisión el valor de resistividad en un punto específico para la instalación de una toma de tierra, debido a la falta de delimitación clara entre diferentes tipos de terreno.

Dado que el suelo está compuesto por varias capas estratificadas, cada una con características conductivas distintas que resultan de los procesos de meteorización, transporte y acumulación de materiales sólidos a lo largo de las eras geológicas, es esencial medir la resistividad directamente en el terreno.

En la práctica, los valores de resistividad pueden variar significativamente, desde algunas decenas de  $\Omega \cdot m$  en terrenos orgánicos y húmedos hasta varios miles de  $\Omega \cdot m$  en rocas secas como el granito, como se ilustró en los datos del cuadro.

#### **2.3.5. Comportamiento eléctrico del suelo**

Aunque la tierra suele ser un mal conductor debido a su alto contenido de óxido de silicio y óxido de aluminio que son altamente resistivos, su amplio volumen permite alcanzar los niveles conductivos necesarios para su uso como conductor adicional.

La conductividad es principalmente un fenómeno electroquímico o electrolítico, por lo que depende de la cantidad de agua depositada o del nivel de humidificación.

Los óxidos de silicio y aluminio son excelentes aislantes en los suelos, pero la presencia de sales y agua mejora su conductividad.

### **2.3.6. Técnicas para la medición del suelo**

Las estimaciones basadas en la clasificación del suelo sólo proporcionan valores aproximados de la resistividad. Por lo tanto, es crucial realizar mediciones directamente en el lugar donde se instalará el sistema de puesta a tierra.

Aunque las técnicas para medir la resistividad del suelo son generalmente las mismas, la interpretación de los datos puede variar significativamente, especialmente en suelos con resistividades no uniformes.

Los suelos suelen estar compuestos por varias capas horizontales con diferentes resistividades. Además, pueden presentarse cambios laterales en la resistividad, aunque suelen ser más graduales a menos que haya fallas geológicas.

Por lo tanto, es importante llevar a cabo mediciones de resistividad para identificar posibles variaciones significativas con la profundidad.

Las técnicas de medición están detalladas en la norma IEEE Std 81(1983), "IEEE Guía para medir la resistividad de la tierra, la impedancia de la tierra y los potenciales de la superficie de la tierra de un sistema de puesta a tierra".

Para esta norma, el método sugerido es el de Wenner (cuatro puntos). Si este método resulta difícil de aplicar, se puede utilizar otro método especificado en la IEEE Std 80(2000).

Para medir la resistividad del suelo, es necesario pasar una corriente a través de él. La técnica básica emplea al menos cuatro electrodos insertados en el suelo: dos para inyectar una corriente continua y dos más para medir el voltaje entre ellos.

La distancia entre los electrodos varía según el área de medición deseada. En un subsuelo uniforme, la resistividad medida no depende de la distancia entre los electrodos utilizados en la prueba.

### **2.3.7. Consideraciones para la medición del suelo**

**2.3.7.1. Las de orden práctico:** para realizar mediciones precisas de la resistividad del suelo, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

**2.3.7.2. Condiciones del terreno:** las mediciones deben llevarse a cabo en días cuando el suelo esté seco, ya que esto representa la condición más adversa para la conexión a tierra.

**2.3.7.3. Estado del equipo:** cerciorarse de que los conductores, conectores y las partes externas de los electrodos auxiliares estén en buen estado.

**2.3.7.4. Presencia de objetos metálicos:** cuando se realizan mediciones en áreas con objetos metálicos enterrados, como tuberías o varillas, se deben realizar mediciones ortogonales para minimizar el impacto de estos objetos en los resultados.

**2.3.7.5. Humedecimiento de electrodos:** humedecimiento de electrodos: para asegurar un buen contacto con el suelo, es recomendable humedecer los electrodos, especialmente los de corriente.

**2.3.7.6. Interferencia de ruido:** el exceso puede afectar la precisión de las mediciones, especialmente debido a la longitud de los cables de los electrodos de prueba.

Para reducir la interferencia, el voltaje de interferencia debe estar dentro del rango tolerado por el equipo; si no es así, puedes trenzar los cables que conectan a los electrodos para cancelar los voltajes comunes.

**2.3.7.7. Cables de distribución eléctrica:** Si los cables de distribución eléctrica están alineados paralelamente a la línea de medición, puede haber interferencias. Por lo dicho, las mediciones deberán efectuarse de manera perpendicular a estos cables.

**2.3.7.8. Capacitación y seguridad:** instruye al personal encargado de las pruebas de campo y asegúrate de que se sigan todas las medidas de seguridad necesarias. (Pacheco Guambaña & Jiménez Zhigui, 2013)

## **2.4. DEFINICIONES**

Para entender el presente contenido es vital conocer definiciones eléctricas contempladas en los procedimientos para diseño de un sistema de aterrizaje en cumplimiento de especificaciones impartidas por la norma IEEE 80.

### **2.4.1. Sistema de aterrizaje o puesta a tierra**

Es la conexión franca, eficaz e intencional de equipos del sistema eléctrico de un predio con un elemento considerado tierra. Esta conexión es aplicada desde la carcasa de un equipo de fuerza o de un punto energizado este último considerado primordial para crear un punto de referencia como ejemplo es el neutro del sistema o también centro estrella de transformadores o grupos electrógenos, incluyendo también una fase para sistemas en delta, entre otros, etc. (Díaz, 2001)

### **2.4.2. Tierra**

Para sistemas eléctricos de fuerza y control es una expresión que se entiende como punto de referencia asociado a condiciones óhmicas o de resistencias que involucran parámetros eléctricos del suelo, masa de tierra, chasis, carcasa, u tipos de tubería.

El término “masa” se entiende como conjunto ejemplo transformador incluye elementos activos y pasivos como activos bobina y parte eléctrica como pasivo parte mecánica

### **2.4.3 Conductor de puesta tierra**

Conductor o cable conectado de manera intencional a la tierra permite la conducción de corrientes de cortocircuito o desbalance a tierra, su dimensionamiento es en base a la corriente de cortocircuito en caso de fallas.

### **2.4.4 Resistividad del suelo**

Este término se define como la resistencia específica del suelo en relación a su profundidad, es obtenida mediante mediciones de campo donde se va a ejecutar la subestación o predio de trabajo.

Su calculada se obtiene con la toma de mediciones realizadas bajo un determinado campo; dicha magnitud es expresada en (m) u (cm), la resistividad del suelo es inversa a la conductividad.

Por este motivo la resistividad del suelo ( $\rho$ ) se define como la relación entre la diferencia de potencial en un material conductor y la densidad de corriente que circula en el mismo.

#### **2.4.5 Resistividad aparente**

Es obtenida de una medida directa en el suelo natural donde se proyecta la infraestructura eléctrica, este método experimental es realizado mediante la aplicación de dos métodos denominados Método Schlumberger se basa en el de Wenner, pero obtiene una sensibilidad superior en pruebas con mayores distancias de medida.

En esta configuración, el espaciamiento entre los electrodos de potencial se mantiene fijo en el centro del sistema, mientras que se varía la distancia de los electrodos de corriente, el proceso se llevó a cabo utilizando el método de cuatro electrodos, que utilizó circuitos independientes para la corriente y el potencial.

Como resultado, los resultados eran únicamente representativos de un punto específico del suelo. (Aplicaciones-Tecnológicas, 2024)

#### **2.4.6. Resistencia mutua entre electrodos**

Es el fenómeno de resistividad que ocurre entre electrodos puestos a tierra o puntos cercanos en el suelo.

Es importante tener en cuenta que el potencial del otro electrodo se ve afectado por la corriente que se dispersa desde uno de estos electrodos. El Ohmio ( $\Omega$ ) es la unidad de medida que utiliza.

#### **2.4.7. Potencial eléctrico**

Se refiere a la diferencia de voltaje existente entre un punto y una superficie equipotencial, que generalmente es la superficie del suelo, que a menudo se denomina potencial cero o tierra remota por decisión propia.

Por lo tanto, un punto con un potencial más alto que cero se llama potencial positivo, mientras que un punto con un potencial más bajo se llama potencial negativo.

#### **2.4.8. Tierra remota**

El lugar, espacio o zona de mínima resistencia más cercana al suelo subyacente a una instalación eléctrica o puesta a tierra, también conocido como "**tierra de referencia**", tiene un valor de potencial cero por convención. (Orozco Bernal, INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA, 2015)

### **2.5. PRINCIPIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

Los principios de un sistema de puesta a tierra se pueden resumir en los siguientes:

- Garantizar una impedancia adecuadamente baja para avalar que las protecciones funcionen correctamente durante fallas.
- Asegurarse de que las personas no estén expuestas a riesgos potenciales tanto durante el día como durante la noche.
- Facilitar el transporte de cargas estáticas o descargas atmosféricas a tierra.
- Mantener los niveles de tensión a tierra de equipos o estructuras que han sido energizados accidentalmente en niveles seguros y controlar la tensión fase-tierra de los sistemas eléctricos, estableciendo niveles adecuados de aislamiento.
- Reducir el voltaje a tierra en los materiales conductivos que rodean los conductores o equipos eléctricos.

Por otro lado, tener una conexión a tierra en las instalaciones es esencial para garantizar el funcionamiento adecuado de equipos como dispositivos electrónicos. La puesta a tierra debe tratarse como un sistema completo porque está conectado al sistema eléctrico y debe ser diseñada e instalada correctamente.

El sistema a tierra de instalaciones eléctricas es considerada en instancia como seguridad, por lo tanto, debe ser diseñada normalmente para cumplir dos funciones fundamentales.

### **2.5.1. La primera es establecer conexiones equipotenciales**

La estructura metálica de un predio puede ser tocada por las personas sin tener peligro por corrientes que pasen por la misma, o conexiones eléctricas, la estructura es aterrizada lo que se conoce como malla estática.

La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada.

La conexión a tierra garantiza que el potencial en todas las estructuras metálicas conductoras expuestas sea prácticamente uniforme en caso de una falla. En otras palabras, la conexión a tierra iguala el potencial dentro del lugar, reduciendo las diferencias de potencial y creando una "superficie equipotencial". (Pro-Cobre)

### **2.5.2. La segunda función de un sistema de puesta a tierra**

Asegurar que, en caso de una falla a tierra, todo el flujo de falla que surja pueda regresar al sistema de manera controlada: La trayectoria de retorno está predeterminada para evitar daño al equipo o lesiones a las personas.

La conexión a tierra no tiene impedancia nula ni capacidad infinita. Sin embargo, la impedancia del sistema de tierra debe ser lo bastante baja para que la corriente de falla pueda fluir suficientemente a la tierra para que los dispositivos de protección funcionen correctamente.

De lo contrario, se requerirá la operación de interruptores o fusibles para interrumpir el flujo circulatorio de corriente.

## **2.6. COMPOSICIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA**

La resistencia al paso de la corriente eléctrica que pasa a través de un electrodo dirigida hacia el suelo cuenta con los siguientes componentes mostrados a continuación:

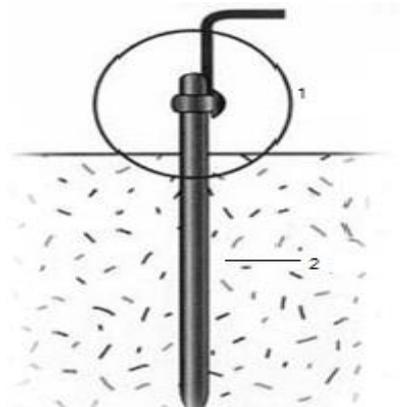
1. **La resistencia del electrodo con condiciones constructivas metalúrgicas - metal:** las condiciones son despreciables en comparación al ítem 3.

2. **Resistencia de contacto entre electrodo y suelo:** considerada como despreciable misma que está exenta de cualquier cubierta aislante como pinturas, grasas etc., la tierra es compacta en zona lateral de asentamiento del mismo.

3. **Resistencia a tierra circundante:** este componente influye en el valor de la resistencia de puesta a tierra, este valor es dependiente a la resistividad del suelo y distribución de corriente derivada del electrodo.

**Figura 1**

*Elemento Constituido De Puesta A Tierra O Sistema De Aterrizaje*



**Nota.** Sistema de aterrizaje del cual representa un electrodo de puesta a tierra. Tomada de “Sistema puesta a tierra” [Imagen], por (Saavedra Laines & Carranza Montenegro, 2020) ([https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57315/Saavedra\\_LHW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57315/Saavedra_LHW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

Esta es el resultado de la sumatoria de resistencia de secciones transversales donde fluye la corriente disipadora producto de desbalance u fallas que genera corrientes muy altas.

La resistencia del suelo reside en las diferentes capas de tierra – composición del suelo que seta confirmada. Normalmente para una varilla de 1,80

m. de longitud, el 90% del valor de la resistencia de puesta a tierra se encuentra dentro de un radio de 2 m.

## **2.7. MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA**

Un sistema de aterrizaje debe ser de orden prioritario donde se debe describir los diferentes métodos de toma de muestras de puesta a tierra donde se denota:

Hay cuatro tipos de métodos de comprobación de puesta a tierra disponibles:

1. Resistividad del terreno (con picas)
2. Caída de potencial (con picas)
3. Selectiva (con 1 pinza y picas)
4. Sin picas (con solo 2 pinzas)

Este sistema de aterrizaje se debe diseñar mediante la selección adecuada de puesta a tierra donde se considera construcciones eléctricas de tipo residencial, comercial o industrial.

Para realizar correctamente el diseño de puesta a tierra, es esencial comprender las diversas técnicas, que se explicarán en detalle en los siguientes puntos.

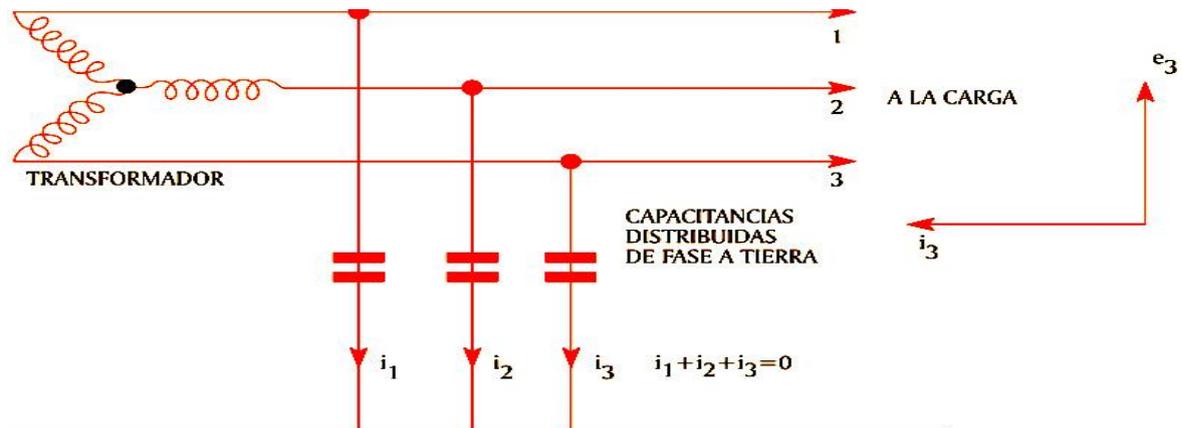
### **2.7.1. Sistema no aterrizado**

Este sistema no posee una conexión franca o intencional entre puesta a tierra y la carcasa del equipo, entre los ejemplos principales son las aplicaciones con bobinas de centro de transformación, equipos de medición y protección.

Para estos sistemas no deben existir desbalances entre las fases es decir no debe haber corrientes circulantes por el neutro o conexión de referencia. Entre las principales conexiones son las configuraciones estrella en un sistema de media tensión o baja tensión alimentación de motores trifásicos y banco de transformadores de distribución. El punto neutro, existe en conexión en referencia al sistema de aterrizaje.

**Figura 2**

Sistema Alimentación Trifásico Balanceado Corrientes Capacitivas



**Nota.** El gráfico eléctrico representa un transformador conectado a un sistema trifásico con capacitancias distribuidas de cada fase a tierra. Tomada de “Elemento constituido de puesta a tierra” [Imagen], por Electricistas CL., (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra/>)

Para sistemas que no aterrizaje franco se debe considerar la incidencia de fallas como no predecibles ya que pueden incidir por falta de mantenimiento como por descargas atmosféricas.

En ambos casos se debe considerar el dimensionamiento de la línea a tierra de manera que sea capaz de disipar corriente muy alta producidas por los tipos de fallas denotadas anteriormente.

Este sistema como tal no es un lazo cerrado con la tierra referencial en el sistema de fuerza, ya que parece ser un sistema con mayor seguridad y confiabilidad.

Las vías de acoplamiento capacitivos de las dos etapas restantes no permiten que las corrientes de fallas y parasitas regresen. La corriente capacitiva normal a tierra de cada fase del sistema completo es tres veces la corriente capacitiva que fluye al punto de falla.

La primera falla es probable que produzca un daño leve porque la corriente total es pequeña. Sin embargo, si alguien toca el conductor dañado, la corriente de falla podría ser suficiente para causar riesgo de electrocución.

Sin referencia no aterrizado puede tener algunas ventajas, ya que es probable que el aislamiento entre conductor de fase y tierra se necesita

dimensionarse al mismo nivel que el aislamiento entre fases, para controlar el peligro por fallas en las redes monofásicas y trifásicas a tierra o también por carga encerrada.

### **2.7.2. Sistema aterrizado**

Los sistemas de voltaje aterrizados se caracterizan por tener al menos un conductor (centro estrella) conectado intencionalmente a tierra. Las conexiones para reducir costo y maximizar eficiencia se realizan mediante la conexión de las bobinas individualmente a tierra, es decir el neutro aterrizado formando una estrella.

Esta conexión es utilizada para prevenir sobre voltajes a tierra con el objetivo de evitar desequilibrios entre fases ya que su principal ventaja la utilizar sistema de medición y protección, para corriente de fallas monofásicas implementando relé de protección, evitando daños fatales a equipos u operarios en redes eléctricas, es vital para discriminación de fallas.

### **2.7.3. Sistema de puesta a tierra mediante impedancia**

En esta configuración se conectan de manera deliberada resistores y/o reactancias entre el punto de conexión referencial neutro - tierra, esto permite limitar la corriente de falla a un nivel aceptable.

Como tal es configurable para impedancia que pueden ser altas que sirven para disipar corrientes de falla de mayor dimensionamiento en comparación para un sistema no aterrizado, evitando sobrevoltajes transitorios provocados por resonancia de capacitores conectados en paralelo.

Estos sistemas de aterrizaje permiten que la puesta a tierra se vuelva inductiva disminuyendo a un 60% de la corriente de cortocircuito trifásico. Esta forma de puesta a tierra tiene menor disipación de energía que la puesta a tierra resistiva.

Entre las principales aplicaciones están las bobinas de supresión de arco, llamadas también "Bobinas de Peterson", o neutralizadores de falla a tierra, estas son reactancias sintonizadas que neutralizan el acoplamiento capacitivo de las fases sanas y de este modo la corriente de falla sea mínima.

Este tipo de puesta a tierra, es efectiva para sistemas de distribución tipo aéreo, por ejemplo, aquellos expuestos a un alto número de fallas transitorias.

Con el uso de interruptores de reconexión automática se reduce el uso de este método de puesta a tierra en sistemas de alta y media tensión. En la actualidad este método es utilizado mediante instalación de resistores tipo cerámico ante el paso de corriente.

#### **2.7.4 Sistema de puesta a tierra con baja impedancia (sólidamente puesto a tierra)**

Es uno de los más utilizadas, en este apartado neutro y la tierra se conecta de manera franca sin conexión de impedancia. La principal desventaja es que la corriente de falla a tierra es normalmente alta, pero los voltajes de las líneas no fallidas permanecen constantes.

#### **2.7.5 Sistema puesta a tierra para sistemas de bajo voltaje en el interior de locales**

Es importante tratar los sistemas de aterrizaje que no están separados de un sistema de potencia para analizar instalaciones que necesitan de manera importante conexiones referenciales a tierra para instalaciones de baja tensión donde incluyen sistemas industriales incluyendo centro de monitoreo.

### **2.8. TIPOS DE SISTEMA**

En el diseño de sistemas de aterrizaje, es esencial considerar diversos modelos de conexión a tierra.

Esto implica seleccionar y aplicar métodos específicos para cada tipo de aterrizaje, utilizando nomenclaturas o códigos detallados para asegurar una implementación precisa y adecuada.

*T*: tierra, conexión directa a tierra.

*N*: neutro

*C*: combinada

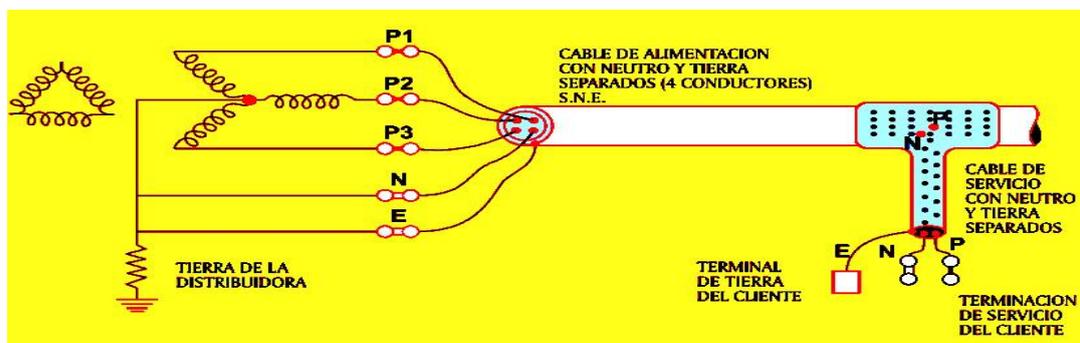
*S*: separada

A continuación, procederemos a incorporar esquemas y diagramas que permitan inteligenciar considerar la instalación de electrodos a tierra o picas incluyendo un Resistor como nomenclatura de una impedancia, donde predomina la parte resistiva.

**2.8.1. TN-S:** para este esquema de conexión existe una conexión franca entre el neutro del sistema de potencia y la tierra en el centro de transformación es decir del punto de alimentación primario, esto implica que el conductor de neutro pasa a ser un cuarto conductor el mismo que se convierte en punto referencial conectada en la cubierta protectora de un equipo.

**Figura 3**

*Sistema de Aterrizaje Único*



**Nota.** Esquema de un sistema de distribución eléctrica TN-C-S. Tomada de “Sistema de puesta a tierra” [Imagen], por Electricistas CL., (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra/>).

**2.8.3. TN-C-S:** para este tipo de conexionado se referencia se puede observar que el neutro de la alimentación del sistema de fuerza posee varios puntos de conexión unido a un sistema de aterrizaje único y referencial como se puede observar en la Figura 4.

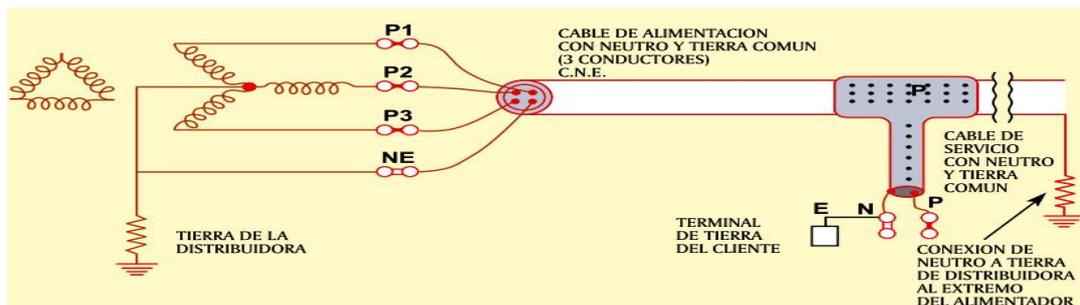
La alimentación a tierra posee una pantalla metálica externa que enfatiza la conexión referencial neutro - tierra, misma que se encuentra en la cubierta de PVC. El diseñador proporciona un terminal de tierra, que permite la conexión entre el neutro y la tierra formando un único punto referencial TN-S.

Este esquema permite tener puntos referenciales, aunque el neutro de cada equipo se encuentre físicamente distanciados unidos a tierra en un punto referencial.

El diseñador del equipo en su esquema funcional permite asegurar que todos los elementos metálicos u carcasas externas, como tuberías de agua, gas, calefacción, etc. se conecten juntos en la forma prescrita en las normas IEEE 80-2000.

**Figura 4**

*Conexión De Aterrizaje De Equipos A Un Punto De Tierra Firme Referencial*

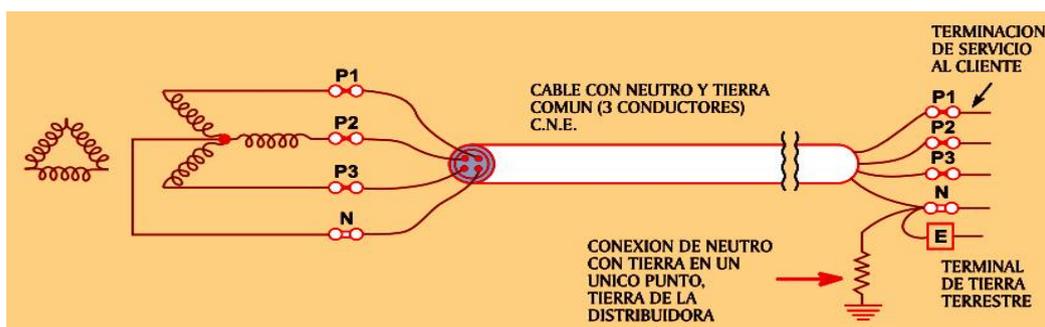


**Nota:** Diagrama del suministro típico de tierra de protección múltiple, Tomada de “Conexión de Aterrizaje”, [Imagen], por Electricistas CL., (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra/>)

**2.8.3. PNB:** este esquema es llamado conexión a neutro de protección, donde se deriva del esquema sistema TN-C-S, donde el usuario interno o externo de una empresa dispone de un terminal a tierra conectado al neutro de la alimentación del sistema de fuerza creando un punto referencial a tierra, este punto se conecta a tierra en un único punto.

**Figura 5**

*Sistema De Aterrizaje De Usuario En Punto De Conexionado Referencial*

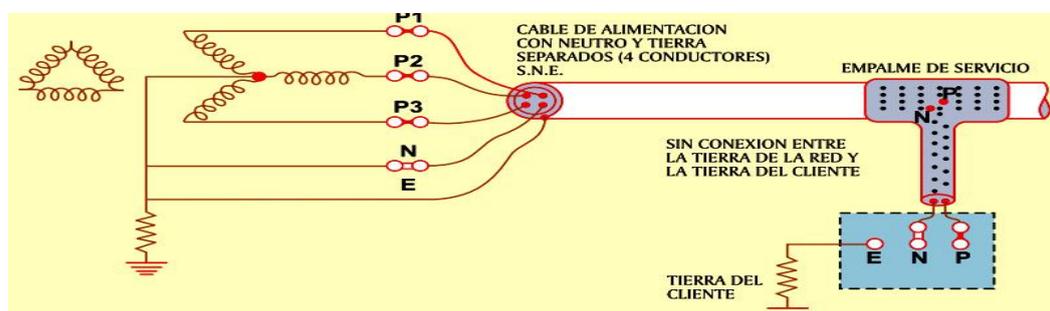


**Nota.** Gráfico eléctrico que representa un sistema utilizado para conectar las instalaciones eléctricas a la tierra. Tomada de “Elemento constituido de puesta a tierra” [Imagen], por Electricistas CL., (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra/>)

**2.8.4. TT:** este es un sistema donde la alimentación se pone a tierra en un único punto, pero se puede notar que la pantalla del cable y las partes metálicas expuestas de la instalación del cliente están conectadas a tierra vía un electrodo separado que es independiente del electrodo de alimentación.

**Figura 6**

*Sistema De Aterrizajes Independientes-Conexionado Sin Punto Referencial*

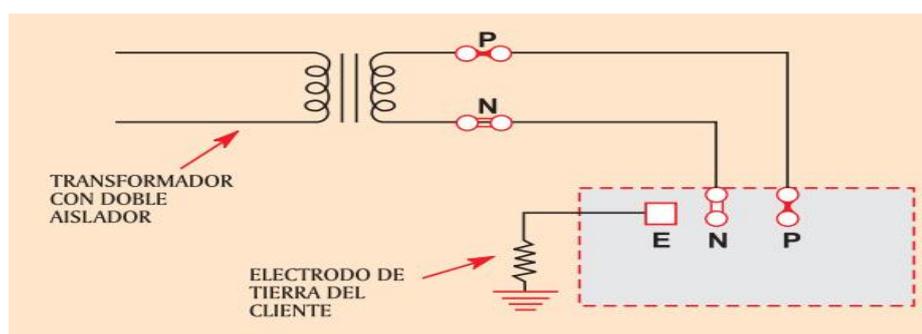


**Nota.** Sistema de puesta a tierra en instalaciones eléctricas y sugiere la existencia de un sistema con dos electrodos de tierra separados. Tomada de “Sistema de alimentación de puesta a tierra” [Imagen], por Electricistas CL., (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra/>)

**2.8.5. IT:** en este esquema no se encuentra una conexión directa entre partes vivas a tierra, pero sin existe una referencia existencial equipotencial de partes expuestas de equipos a tierra. En ciertos casos se conecta una impedancia en la conexiona tierra esta debe ser de alta impedancia para detección de fallas de línea a tierra.

**Figura 7**

*Sistema De Aterrizaje Con Conexión De Alta Impedancia En Sistemas Independientes*



**Nota.** Representa cómo los diferentes sistemas eléctricos se conectan a la tierra utilizando una conexión de alta impedancia y manteniendo cada sistema separado. Tomada de “Sistema de alimentación de puesta a tierra” [Imagen], por Electricistas CL., (<https://electricistas.cl/puesta-a-tierra/>)

Esta conexión evita un contacto directo con las partes eléctricas expuesta a tensión y brinda protección a contactos indirectos. Para el correcto funcionamiento se dimensiona un sistema de aterrizaje equipotencial entre las dos etapas independientes.

## **2.9. CONDUCTORES DE TIERRA**

La función de un sistema de aterrizaje tiene como función:

Proporcionar un camino a tierra de mayor eficacia es decir que su impedancia se la más mínima posible conforme la norma IEE 80-2000, donde denotaremos la capacidad del conductor, distancia y espaciamiento necesaria para una buena evacuación de corriente de fallas generadas por líneas de distribución y/o por descargas atmosféricas. Este camino de drenaje de corriente de falla debe ser capaz de derivar todas estas corrientes de falla a tierra.

Limitar los valores de voltaje de contacto y de paso dentro de los parámetros permisibles en cumplimiento con la normativa eléctrica existente en Ecuador, garantizando la vida de personas, operadores y fauna bajo condiciones normales y anormales del circuito de potencia esto es bajo corrientes muy alta por fallas externas o internas dentro de la subestación.

### **2.9.1. CONDUCTORES DE PROTECCIÓN Y DE CIRCUITO**

Es un tipo de conductor que se encuentra separado conectado a cada circuito, permite que la corriente en caso de falla regrese a la fuente a través de él. Este conductor puede ser individual, la cubierta metálica exterior del conductor debe estar conectado a la estructura de un ducto metálico.

### **2.9.2. CONDUCTORES DE CONEXIÓN**

Este tipo de conductores aseguran que las partes conductoras expuestas (tales como carcasas metálicas) permanezcan aproximadamente al mismo potencial durante condiciones de falla eléctrica. Las dos formas de conductores de conexión son:

#### **2.9.2.1. CONDUCTORES DE CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL PRINCIPALES**

Estos conductores se conectan entre sí y a tierra, las partes conductoras expuestas que normalmente no llevan corriente, pasan a ser conductoras únicamente en condiciones de falla. Estas conexiones normalmente unen al sistema de puesta a tierra por medio de tuberías metálicas de gas y agua expuestas que ingresan a la instalación, entre ellas estructuras metálicas de edificios y / o

servicios principales.

En el interior de instalaciones, estas conexiones deben ser de un cierto tamaño mínimo (al menos 6 mm<sup>2</sup>, aproximadamente #8AWG) y generalmente no necesitan ser mayor que 25 mm<sup>2</sup> (aproximadamente # 4AWG) en cobre.

#### **2.9.2.2. CONDUCTORES DE CONEXIÓN SUPLEMENTARIOS**

Estos conductores permiten una conexión segura a tierra formando un equipotencial a un equipo eléctrico u otro material conductor en zonas específicas que se encuentren conectadas entre sí. Son utilizados en adición a los conductores de conexión equipotencial principales y conductor de protección de circuito. (Guarnizo Jiménez, 2015)

#### **2.10. ELECTRODOS DE TIERRA**

Un electrodo de tierra es aquel componente del sistema de puesta a tierra que se encuentra conectado en contacto directo con el terreno proporcionando un medio para descargar u absorber cualquier tipo de corriente de fuga a tierra por desbalance o falla externa.

Este podrá soportar corrientes de falla de gran magnitud por un corto período de tiempo, este conductor debe tener una sección suficientemente grande como para ser capaz de descargar corrientes falla de forma segura para mitigar accidentes por electrocución. (Rojas, 2007)

Este sistema debe tener electrodos con propiedades constructivas mecánicas y eléctricas que permita circular corrientes de falla de corta duración, con un tiempo relativamente largo con conductividad eléctrica y con cualidades no corrosivas.

El cobre, el acero galvanizado, el acero inoxidable y el hierro fundido son los materiales más utilizados para sistemas de puesta a tierra. El aluminio se usa en conexiones externas donde hay menos riesgo de corrosión, pero el cobre es el material preferido debido a su excelente conductividad y durabilidad. Los materiales corrosivos pierden su capacidad de conducción, lo que hace que el sistema de aterrizaje sea menos efectivo. Los electrodos de puesta a tierra pueden ser conductores horizontales, placas o barras verticales.

Las formas más comunes de estos electrodos se presentan a continuación:

### **2.11. BARRAS O ELECTRODO VERTICAL (PICAS)**

Es la forma más común de electrodos, su costo de instalación es relativamente más barato ya que permiten alcanzar mayor profundidad en el suelo de baja resistividad, con excavación limitada y relleno. Están disponibles en diversos tamaños, longitudes, diámetros y característica constructiva.

Dentro de sus características constructivas está diseñada con cobre puro o de acero recubierto de cobre. Este tipo de electrodo recubierto es utilizado en terrenos con impacto mecánico ya que el acero usado tiene alta resistencia mecánica, para esto la capa de cobre debe ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente, ya que permite que el revestimiento de cobre no se deslice al enterrar la barra.

Para suelos con características más agresivas, se usa barras de cobre sólido terreno con alta salinidad. Las barras de acero inoxidable se utilizan en terrenos con alto riesgo de corrosión galvánica ya que tiene baja capacidad de transporte de corriente en comparación con el cobre.

En cada extremo de la barra hay sectores tratados que permiten disponer de un extremo aguzado, un extremo con una cabeza endurecida o con hilo para atornillar barras adicionales. Importante señalar que, en caso de barras recubiertas, que la capa de cobre se mantenga intacta en la sección fileteada (con hilo).

Se dispone de secciones apantalladas de barra para uso, por ejemplo, cuando hay una capa de suelo altamente corrosivo, a través de la cual debe atravesar una barra profunda. La pantalla debe ser de PVC para prevenir el contacto entre la barra y el suelo corrosivo. Sin embargo, esta sección no contribuye a reducir el valor de impedancia, puesto que no está en contacto con el suelo propiamente dicho.

## **CAPÍTULO III**

### **3. GENERALIDADES**

#### **3.1 LAS NORMAS**

Las normas eléctricas definen los requisitos mínimos que deben cumplir las instalaciones para garantizar la seguridad de las personas y los bienes, así como la fiabilidad de su funcionamiento.

Para estandarizar la fabricación de equipos eléctricos, especialmente en términos de dimensiones físicas, características constructivas y operativas, condiciones de seguridad, servicio y entorno, y la simbología para la representación de equipos y sistemas, se han desarrollado Normas Técnicas.

En los proyectos eléctricos, estas normas abarcan desde las representaciones gráficas hasta los métodos de montaje y pruebas que deben realizarse en los equipos. Cada país cuenta con sus propias normas, elaboradas según las necesidades y experiencias de sus especialistas.

El National Electrical Code (NEC), el American National Standards Institute (ANSI), la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) y el Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (IEEE) son algunas de las normas eléctricas más conocidas.

En el continente europeo, las normas DIN de Alemania, las VDE para equipos eléctricos (Verband Deutscher Elektrotechniker), la British Standard (BS), la Union Technique de l'Électricité (UTE) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) son algunas de las normas más conocidas.

#### **3.2. NORMATIVA IEEE 80**

La norma IEEE 80, conocida como " Guía para medir la resistividad de la tierra, la impedancia de la tierra y los potenciales de la superficie de la tierra de un sistema de puesta a tierra ", establece directrices detalladas para el diseño y la instalación de sistemas de puesta a tierra en subestaciones eléctricas.

Su estándar ofrece instrucciones detalladas para garantizar la protección adecuada de personas y equipos, abordando temas importantes como la

prevención de riesgos eléctricos relacionados con corrientes de falla y descargas atmosféricas.

La guía incluye información sobre la selección y disposición de electrodos, el análisis de la resistividad del suelo y las técnicas de mantenimiento. Su objetivo principal es reducir los peligros eléctricos y garantizar que las subestaciones funcionen de manera segura, lo que aumenta la confiabilidad y la estabilidad del suministro eléctrico.

La norma también establece las mejores prácticas para la implementación eficiente de sistemas de aterrizaje, teniendo en cuenta la seguridad del personal y la integridad del equipo.

Así como también el diseño y la seguridad de subestaciones de corriente alterna al aire libre, tanto convencionales como aisladas con gas. También incluye subestaciones de distribución, transmisión y plantas generadoras.

Por otra parte, se centra principalmente en subestaciones exteriores, los métodos descritos aplicables a las áreas internas de estas instalaciones, así como a subestaciones completamente interiores, hay que tomar las precauciones adecuadas. Sin embargo, la guía no examina los aspectos específicos de la puesta a tierra en subestaciones de corriente continua ni analiza los efectos de las sobretensiones inducidas por rayos de manera detallada.

Las Normas IEEE son desarrolladas por las Sociedades IEEE y los Comités de Coordinación de Normas de la Junta de Normas de la Asociación de Normas IEEE (IEEE-SA). Los miembros de estos comités no siempre son del Instituto IEEE trabajan voluntariamente. Reflejan un consenso basado en la experiencia colectiva o y la colaboración con entidades externas interesadas en el desarrollo de dichas normas.

### **3.3. IMPORTANCIA DE LA GUÍA**

El “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding” es crucial para el diseño seguro y eficiente de sistemas de puesta a tierra en subestaciones eléctricas.

Al seguir sus directrices, se pueden reducir significativamente los riesgos eléctricos y mejorar la confiabilidad y seguridad operativa de las subestaciones, garantizando así una operación segura y estable del sistema eléctrico.

### **3.4. OBJETIVO**

Brindar recomendaciones para el diseño, la instalación y el mantenimiento de sistemas de puesta a tierra en subestaciones de corriente alterna (AC), con el propósito de asegurar tanto la protección de las personas como la integridad de los equipos.

### **3.5. ASPECTOS CLAVES DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA SEGÚN IEEE 80**

De acuerdo con la norma IEEE 80 el diseño del sistema de puesta a tierra en subestaciones eléctricas incluye varios aspectos fundamentales para garantizar su efectividad y seguridad.

A continuación, se detallan los puntos clave:

#### **3.5.1. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE ELECTRODOS**

Es crucial elegir y posicionar adecuadamente los electrodos de puesta a tierra para garantizar una conexión eficiente con el suelo.

1. **Tipo de electrodos:** el tipo de electrodo debe ser el adecuado (como varillas, mallas o placas) dado que debe ser en función de la resistividad del suelo y las características del sistema.
2. **Ubicación de electrodos:** los electrodos deben estar ubicados de manera estratégica para que tengan una baja resistencia al contacto con el suelo. Esto incluye considerar la disposición de los electrodos a lo largo del perímetro de la subestación y en áreas cruciales.
3. **Profundidad y distancia entre los electrodos:** para maximizar la eficacia del sistema de puesta a tierra, la profundidad y la distancia entre los electrodos deben diseñarse.

Deben ser ubicados estratégicamente para proporcionar una baja resistencia de contacto con el suelo. Esto incluye considerar la disposición de los electrodos a lo largo del perímetro de la subestación y en áreas críticas.

4. **Profundidad y espaciado:** la profundidad y el espaciado de los electrodos deben diseñarse para que el sistema de puesta a tierra funcione lo mejor posible. La resistencia del sistema está directamente influenciada por la distancia entre los electrodos y la profundidad a la que se entierran.

### 3.5.2. ANÁLISIS DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

Es necesario evaluar la resistividad del suelo para diseñar un sistema de puesta a tierra que minimice la resistencia al flujo de corriente durante fallos o descargas.

1. **Medición de resistividad:** es crucial medir la resistividad del suelo en el sitio de la subestación para diseñar un sistema de puesta a tierra adecuado. La resistividad puede variar con la humedad, la temperatura y la composición del suelo.
2. **Optimización del Diseño:** con base en las mediciones de resistividad, se deben optimizar el tamaño, el tipo y la disposición de los electrodos para minimizar la resistencia total del sistema de puesta a tierra.

### 3.5.3. SEGURIDAD Y PROTECCIÓN-PREVENCIÓN DE RIESGOS ELÉCTRICOS

La guía ofrece pautas para reducir los riesgos asociados con las corrientes de falla y las descargas atmosféricas, protegiendo así a las personas y equipos.

#### 1. REDUCCIÓN DE RIESGOS DE CORRIENTES DE FALLA

- **Diseño del sistema de puesta a tierra:** el sistema debe ser diseñado para dispersar de manera segura las corrientes de falla hacia el suelo. Esto incluye la correcta selección y disposición de los electrodos para reducir la resistencia.
- **Cálculo de Potenciales:** Para evitar riesgos eléctricos que puedan poner en peligro a las personas o dañar equipos, es fundamental calcular y controlar los potenciales de paso y contacto.

- **Protección de Equipos:** un sistema de puesta a tierra adecuadamente diseñado protege los equipos eléctricos de posibles daños ocasionados por corrientes de falla.

## **2. PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

1. **Instalación de pararrayos:** los pararrayos deben ser instalados y conectados a tierra de forma correcta para desviar las descargas atmosféricas y salvaguardar la subestación.
2. **Electrodos de protección:** La disposición de los electrodos debe ser tal que permita una disipación efectiva de la energía de los rayos, reduciendo así el riesgo de daños a las estructuras y equipos.

## **3. SEGURIDAD DEL PERSONAL**

1. **Capacitación y procedimientos:** es vital que el personal reciba formación adecuada con referencia a seguridad eléctrica, así como del manejo de sistemas de puesta a tierra para evitar accidentes.
2. **Mantenimiento regular:** las inspecciones y mantenimientos periódicos del sistema se deben de realizar para asegurar su funcionamiento adecuado y prevenir riesgos.

## **4. MEDIDAS ADICIONALES DE PROTECCIÓN**

1. **Aislamiento y barreras:** se recomienda el uso de aislamiento y barreras físicas para prevenir el contacto accidental con partes eléctricamente activas.
2. **Monitoreo Continuo:** establecer un sistema de monitoreo es crucial para garantizar la integridad del sistema de puesta a tierra y identificar problemas de manera anticipada.

En resumen, la norma IEEE 80 proporciona pautas detalladas para el diseño e implementación de sistemas de puesta a tierra efectivos, asegurando la protección de las personas y los equipos en las subestaciones eléctricas.

### 3.5.4. CÁLCULO DE POTENCIALES DE PASO Y CONTACTO

Se proporcionan métodos para calcular y controlar los potenciales de paso y contacto, con el fin de evitar peligros eléctricos durante fallos.

- **Potencial de paso:** Se refiere a la diferencia de potencial entre los pies de una persona sobre una superficie durante una falla eléctrica. Para evitar el riesgo de electrocución, es fundamental calcular y mantener este potencial dentro de límites seguros.
- **Potencial de contacto:** Es la diferencia de potencial entre un punto en el suelo y un punto en un objeto conductor que una persona podría tocar durante una falla. Este potencial debe ser regulado para garantizar la seguridad de los trabajadores.

### 3.5.5. MANTENIMIENTO Y VERIFICACIÓN

- **Pruebas periódicas**

Se aconseja llevar a cabo mantenimiento regular y pruebas para garantizar que el sistema de puesta a tierra continúe funcionando de manera efectiva.

La norma IEEE 80 destaca la necesidad de realizar mantenimiento y pruebas periódicas para asegurar que el sistema de puesta a tierra en subestaciones eléctricas siga funcionando eficazmente. Los aspectos clave de estas recomendaciones incluyen:

#### 1. MANTENIMIENTO REGULAR

- **Inspección visual y física:** se aconseja llevar a cabo inspecciones regulares tanto visuales como físicas del sistema de puesta a tierra para detectar cualquier signo de desgaste, corrosión o daños en los componentes, como electrodos y conexiones.
- **Limpieza y reemplazo:** limpia y reemplaza los componentes desgastados o corroídos para mantener el sistema funcionando correctamente. Además, revisar y asegurarse de que los contactos estén limpios y correctamente conectados es crucial.

## 2. PRUEBAS PERIÓDICAS

- **Medición de resistividad del suelo:** es necesario medir regularmente la resistencia del suelo para detectar cambios en las condiciones que podrían afectar la resistencia del sistema de puesta a tierra.
- **Pruebas de continuidad y resistencia:** para asegurarse de que no haya fallas ni aumentos en la resistencia que puedan poner en peligro el sistema, es esencial realizar pruebas para verificar la continuidad eléctrica, la resistencia de los conductores y las conexiones.
- **Verificación de potenciales de paso y contacto:** para asegurarse de que se mantengan dentro de los límites seguros establecidos por la norma, es necesario comprobar regularmente los potenciales de paso y contacto.

## 3. DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO

- **Registro de actividades:** Mantener un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento y pruebas, incluyendo fechas, resultados y cualquier medida correctiva adoptada. Esta documentación es importante para la evaluación continua y futuras auditorías.
- **Actualización de datos:** Es importante actualizar los datos del sistema, como la resistividad del suelo y los resultados de las pruebas, para reflejar cualquier cambio que pueda influir en el desempeño del sistema de puesta a tierra.

## 4. REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS

- **Evaluación de procedimientos:** Revisar y actualizar los procedimientos de mantenimiento y prueba para asegurarse de que cumplan con las normativas actuales y las mejores prácticas. Esto incluye la formación continua del personal encargado de estas tareas.

## 5. INSPECCIÓN CONTINUA

- **Monitoreo activo:** Implementar sistemas de monitoreo continuo para verificar la integridad del sistema de puesta a tierra y detectar problemas

potenciales de manera temprana. Esto puede incluir el uso de sensores y equipos de medición para alertar sobre cualquier anomalía en el sistema.

En resumen, para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del sistema de puesta a tierra, es fundamental seguir las pautas de la norma IEEE 80 durante el mantenimiento y la verificación. Las pruebas y el mantenimiento regulares son esenciales para evitar problemas y garantizar la protección continua de las personas y el equipo en las subestaciones eléctricas.

### **3.6. APLICACIONES DE LA NORMA IEEE-80 EN SUBESTACIONES EXTERIORES E INTERIORES**

Aunque la guía se enfoca principalmente en subestaciones al aire libre, los métodos también son aplicables a áreas internas y subestaciones completamente interiores, siempre que se tomen las precauciones necesarias.

### **3.7. EXCLUSIONES**

No aborda los temas específicos de puesta a tierra en subestaciones de corriente continua ni realiza un análisis detallado de las sobretensiones causadas por rayos.

### **3.8. DESARROLLO DE NORMAS**

Las normas IEEE, incluyendo esta guía, son elaboradas por comités voluntarios dentro de la IEEE Standards Association (IEEE-SA). Los miembros de estos comités contribuyen con su experiencia técnica y colaboran con entidades externas interesadas en el desarrollo de las normas. (Substations Committee of the IEEE Power Engineering Society, 2000)

### **3.9. NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN (NEC)**

Es el marco regulatorio que dirige las actividades de construcción de edificaciones en Ecuador. Su propósito es asegurar que se sigan las mejores prácticas de ingeniería en el país, garantizando así la calidad y seguridad de las construcciones. (Lavín & Zurita, 2023)

Como tal representa una actualización del anterior Código Ecuatoriano de la Construcción, que había estado en vigor desde 1996. La nueva normativa,

respaldada por recientes investigaciones sobre sismicidad realizadas por la EPN-IGN, amplía el alcance del documento original e incorpora factores adicionales que no se consideraban anteriormente.

Entre estos nuevos factores se incluyen cargas no sísmicas, clasificación de suelos, estudios geotécnicos, y la relación con diferentes tipos de estructuras como hormigón, acero, mampostería y madera. Además, la actualización define criterios mínimos para la habitabilidad y funcionalidad de las edificaciones. (Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda;, 2017)

### **3.9.1. IMPORTANCIA DE LA NEC**

Es esencial para garantizar que las edificaciones en Ecuador se construyan de manera segura, eficiente y conforme a las mejores prácticas de ingeniería. Al seguir estas normas, se busca minimizar riesgos, mejorar la calidad de las construcciones, proteger a las personas y propiedades de posibles fallos estructurales o problemas de seguridad. (Ramírez Jorge, 2018)

### **3.9.2. OBJETIVO DE LA NEC**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) tiene como objetivos principales mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos, fomentar una cultura de seguridad y prevención, establecer principios para el diseño sismo resistente, definir parámetros mínimos de seguridad y calidad en edificaciones, optimizar el control y mantenimiento en la construcción, reducir el consumo y mejorar la eficiencia energética, y fijar responsabilidades y derechos de los actores involucrados en el proceso constructivo.

### **3.9.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA NEC**

#### **3.9.3.1. REGULACIÓN DE CONSTRUCCIÓN**

- Establece los requisitos y procedimientos que deben seguirse durante la planificación, diseño, ejecución y mantenimiento de edificaciones.
- Contiene información sobre materiales, procesos de construcción y métodos de inspección y control.

### **3.9.3.2. GARANTÍA DE BUENAS PRÁCTICAS**

- Fomenta la adopción de prácticas de ingeniería verificadas para asegurar la seguridad y la estabilidad de las estructuras.
- A través de la estandarización de procesos y técnicas, se busca prevenir fallas estructurales y problemas de calidad en las construcciones.

### **3.9.3.3. CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS**

- Asegura que las construcciones cumplan con las normativas locales e internacionales aplicables.
- Facilita la homologación y certificación de proyectos de construcción, asegurando que cumplen con los estándares de seguridad y calidad.

### **3.9.3.4. APLICACIÓN EN DIVERSOS TIPOS DE PROYECTOS**

- Se aplica a una amplia gama de edificaciones, incluyendo residenciales, comerciales, industriales y de infraestructura.
- Proporciona directrices específicas para diferentes tipos de construcciones, adaptándose a las necesidades y características particulares de cada proyecto.

### **3.9.3.5. ACTUALIZACIÓN Y REVISIÓN CONTINUA**

La NEC es revisada y actualizada periódicamente para incorporar avances tecnológicos y mejorar las prácticas constructivas.

Se asegura que los estándares se mantengan al día con los cambios en la ingeniería y la construcción. ((INEN), (NEC), & (INEN), 2020)

## **3.10. LA NORMATIVA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN APLICADA AL ÁMBITO ELÉCTRICO**

Esta normativa define las especificaciones técnicas y los requisitos esenciales que deben cumplirse en el diseño y la ejecución de instalaciones eléctricas interiores en viviendas residenciales. El propósito de este documento es prevenir, reducir o eliminar los riesgos eléctricos, garantizando así la seguridad de las personas y la protección de sus bienes.

Esta norma se aplica a las instalaciones eléctricas interiores de baja tensión

en viviendas residenciales, ya sean en construcciones nuevas, ampliaciones o modificaciones de instalaciones existentes. Su objetivo es asegurar que estas instalaciones estén adecuadamente protegidas contra:

- Choques eléctricos
- Efectos térmicos
- Sobrecorrientes
- Corrientes de falla
- Sobretensiones.

Cumplir con las directrices establecidas en esta norma garantiza un uso seguro de la energía eléctrica.

La instalación eléctrica debe cumplir con los estándares de calidad y continuidad del servicio y proteger a personas y bienes contra los riesgos relacionados con el uso de la electricidad.

Los planos arquitectónicos y las características físicas de la casa deben ser la base para el diseño eléctrico. Además, los diseños eléctricos, telefónicos, electrónicos, hidráulicos, estructurales y sanitarios deben coordinarse y funcionar de manera estrecha.

El resumen de los criterios técnicos y los resultados de los cálculos necesarios debe incluir planos eléctricos de acuerdo con la norma IEC 60617 y estar detallado en la memoria técnica descriptiva del proyecto.

Esta norma establece las normas mínimas necesarias para alcanzar niveles de seguridad adecuados en las instalaciones eléctricas. En lugar de servir como un manual completo para el diseño de instalaciones eléctricas, esta norma está destinada a ser aplicada e interpretada por profesionales especializados.

### **3.11. CIRCUITOS**

La vivienda debe contar con circuitos separados para iluminación, tomacorrientes y cargas especiales, que deben cumplir con las siguientes especificaciones:

a) Los conductores de alimentadores y circuitos deben ser dimensionados para manejar al menos el 125 % de la corriente máxima que se espera que soporten.

b) Cada circuito debe tener su propio conductor neutro o uno que esté conectado a tierra.

c) Cada circuito debe contar con su propia protección.

d) Los circuitos no deben compartir servicios entre diferentes plantas o niveles de la vivienda.

## **3.12. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

### **3.12.1. CONCEPCIONES GENERALES**

En un sistema eléctrico, se define el concepto de "tierra" como el POTENCIAL de VOLTAJE "0" (Cero), que actúa como el nivel de referencia fundamental. Este nivel es utilizado como base para medir o evaluar los voltajes de otros niveles, dispositivos, equipos y puntos dentro del sistema.

Los componentes metálicos que no están incluidos en las instalaciones eléctricas no deben considerarse como conductores de puesta a tierra. Sin embargo, hay situaciones en las que estos elementos deben estar conectados a la tierra.

Además, las tierras naturales, como tuberías de agua y estructuras metálicas, no deben utilizarse como electrodos de puesta a tierra, aunque deben estar conectados a estos electrodos.

### **3.12.2. CARACTERÍSTICAS**

1. Todos los equipos eléctricos y electrónicos, así como las carcasas, gabinetes, racks y otros componentes metálicos en estos sistemas, deben estar correctamente conectados a tierra según las normas ANSI/NFPA 70-250 (NEC) y ANSI/TIA-607.

2. Cualquier instalación eléctrica cubierta por esta norma, a menos que se indique lo contrario, debe contar con un Sistema de Puesta a Tierra (SPT).

3. Esto asegura que ningún punto, ya sea interior o exterior y normalmente accesible a personas, esté expuesto a tensiones de paso, contacto o

transferidas que superen los límites de tolerancia del ser humano en caso fallas.

4. La normativa sobre puestas a tierra para instalaciones eléctricas abarca tanto el sistema eléctrico en sí como las estructuras de soporte. Estas estructuras deben estar protegidas para evitar que una sobretensión temporal cause una falla permanente a frecuencia industrial entre la estructura puesta a tierra y la red.

### **3.12.3. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS PUESTAS A TIERRA**

- **Seguridad de las personas:** para igualar los niveles de potencial que podrían inducir voltajes peligrosos en caso de una descarga eléctrica o una falla eléctrica.
- **Protección de las instalaciones:** para proporcionar una ruta clara para las corrientes de falla hacia el electrodo de puesta a tierra, protegiendo al personal y garantizando un funcionamiento seguro y confiable del equipo. Además, es necesario establecer una referencia para todas las fuentes de energía de voltaje y corriente alterna.
- **Compatibilidad electromagnética:** para reducir los efectos de perturbaciones causadas por electricidad estática, interferencia electromagnética, interferencia de radiofrecuencia y transitorios espurios que pueden ingresar a través de la red como resultado del funcionamiento de equipos eléctricos en el sitio.

### **3.12.4. FUNCIONES DE LOS SISTEMAS PUESTAS A TIERRA**

- Asegurar la seguridad de las personas y otros seres vivos.
- Facilitar a los equipos de protección la rápida eliminación de fallas.
- Proporcionar una referencia estable al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar las corrientes de falla de manera adecuada y con suficiente capacidad.

Es importante tener en cuenta que el criterio principal para asegurar la seguridad de las personas es la máxima energía eléctrica que pueden tolerar

debido a las tensiones de paso, contacto o transferidas, y no solo el valor de la resistencia de puesta a tierra por sí mismo.

Sin embargo, se prefiere una resistencia de puesta a tierra baja para reducir la máxima elevación de potencial (GPR, por sus siglas en inglés). La máxima tensión de contacto permitida para los seres humanos depende del tiempo que tarda en despejarse la falla a tierra, la resistividad del suelo y la corriente de falla.

El tiempo de desconexión de la falla a tierra, la resistividad del suelo y la corriente de falla determinan la tensión máxima de contacto permitida para las personas. Esta norma establece que la tensión máxima de contacto o contacto no debe superar los valores especificados.

### 3.13. TENSIÓN DE CONTACTO QUE UN SER HUMANO PUEDE EXPERIMENTAR EN CASO DE FALLA A TIERRA

**Tabla 2**

*Valores Máximos De Tensión De Contacto En Relación Con Una Persona*

Tiempo de despeje de la falla	Máxima tensión de contacto
Mayor a dos segundos	50 voltios
750 milisegundos	67 voltios
500 milisegundos	80 voltios
400 milisegundos	100 voltios
300 milisegundos	125 voltios
200 milisegundos	200 voltios
150 milisegundos	240 voltios
100 milisegundos	320 voltios
40 milisegundos	500 voltios

**Nota:** La tabla hace referencia al límite superior de la diferencia de potencial (o voltaje) que una persona puede tocar entre dos puntos en un sistema eléctrico sin causar daños significativos o electrocución. Tomada de “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)”, por Régimen Legal de Bogotá (<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=23654>).

### **3.13.1. Análisis**

La tensión de contacto que un ser humano puede recibir en caso de una falla a tierra se basa en los valores máximos que una persona puede tolerar en términos de corriente eléctrica. Esta tensión considera la resistencia promedio del cuerpo humano entre la mano y el pie, sin tener en cuenta las resistencias externas adicionales que puedan estar presentes entre la persona y la estructura de puesta a tierra o entre la persona y el terreno natural.

Un sistema de puesta a tierra debe garantizar que las tensiones máximas de paso, contacto y transferencia a las que podrían estar expuestas las personas no excedan los límites tolerables. Para diseñar un sistema de puesta a tierra, se deben calcular las tensiones máximas permitidas de paso, contacto y transferencia utilizando una resistencia corporal de 1000 a 2000  $\Omega$  y una fuerza aplicada de 250 N por pie.

El diseño de un sistema de puesta a tierra debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Las características del suelo, en particular su resistividad.
- La corriente máxima de falla a tierra, que debe proporcionar el operador de la red para cada caso específico.
- El tiempo máximo para despejar la falla, utilizado en las simulaciones.
- El tipo de carga involucrada.

### **3.13.2. Exigencias generales**

1. Los elementos metálicos principales que sirven como soporte estructural en un edificio deben estar conectados de manera permanente al sistema general de puesta a tierra.
2. Las conexiones subterráneas en los sistemas de puesta a tierra deben llevarse a cabo utilizando soldadura exotérmica.
3. En instalaciones residenciales, para asegurar que las características del electrodo de puesta a tierra y su conexión con la red equipotencial cumplan con la norma vigente, es necesario dejar al menos un punto de conexión que sea accesible e inspeccionable. Si se construye una caja de inspección para este propósito, sus dimensiones mínimas deben ser de 30 cm x 30 cm, o 30 cm de diámetro si es circular, y la tapa debe ser removible.

4. El uso de aluminio en los electrodos de puesta a tierra está prohibido.
5. Se puede emplear electrodos activos solo si han sido especificados por el ingeniero responsable, y se podrán usar electrodos de otros tipos o materiales siempre y cuando estén incorporados y autorizados por esta norma.
6. Con la entrada en vigor de esta Norma, queda estrictamente prohibido utilizar el suelo o terreno como camino de retorno para la corriente en condiciones normales de operación.
7. Además, no se permitirá el uso de sistemas monofilares, donde solo se emplea el conductor de fase y el terreno actúa como la única ruta tanto para las corrientes de retorno como para las de falla. (Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN-Instalaciones Electromecánicas, 2013)

### **3.14. INCIDENCIA DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ÁMBITO ELÉCTRICO**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) tiene una incidencia significativa en el ámbito eléctrico, ya que establece especificaciones técnicas y requisitos mínimos para las instalaciones eléctricas interiores residenciales. Su impacto se puede resumir en los siguientes puntos:

1. **Seguridad:** la NEC garantiza la protección contra riesgos eléctricos, como choques eléctricos, sobre corrientes y corrientes de falla, asegurando que las instalaciones eléctricas sean seguras para los usuarios.
2. **Calidad y continuidad del servicio:** la norma fomenta el cumplimiento de estándares de calidad y continuidad en el suministro eléctrico, que son esenciales para que los hogares y los edificios funcionen adecuadamente.
3. **Prevención de riesgos:** al establecer normas específicas para el diseño y la ejecución de instalaciones eléctricas, la NEC tiene como objetivo prevenir, reducir o eliminar los riesgos eléctricos, protegiendo a las personas y sus bienes.
4. **Adaptación a normativas internacionales:** el National Electrical Code (NEC) de EE. UU. es la base de la NEC, pero sus principios se adaptaron a

la situación ecuatoriana para proporcionar una regulación más efectiva y relevante en el contexto local.

5. **Obligatoriedad:** la NEC es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, lo que significa que todas las instalaciones eléctricas deben adherirse a sus disposiciones, garantizando un estándar mínimo de seguridad y calidad en el ámbito eléctrico

En resumen, la NEC tiene un papel crucial en la regulación de las instalaciones eléctricas, asegurando la seguridad, calidad y eficiencia en el uso de la energía eléctrica en Ecuador. (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO DE VIVIENDA, 2018)

### **3.15. ANSI -PUESTA A TIERRA**

Fundada en 1918, la organización tiene una larga trayectoria en Estados Unidos, comenzando con la colaboración de cinco sociedades de ingenieros y tres agencias gubernamentales para apoyar a las empresas e industrias del país.

En 1969, ANSI adoptó su nombre actual después de varios cambios.

ANSI tiene actualmente una oficina operativa en Nueva York y su sede principal en Washington, D.C. La organización tiene un Consejo de Administración y un equipo directivo, y hay noventa trabajadores.

#### **3.15.1. El rol de ANSI en las normas voluntarias**

A pesar de la existencia de normas nacionales, estatales y locales, las empresas eligen unirse a ANSI y colaborar en el desarrollo de normas voluntarias.

La participación en ANSI es completamente opcional, y sus miembros colaboran para potenciar sus negocios y la economía. Esto se logra mediante la creación de normas voluntarias conocidas como las Normas Nacionales Americanas.

#### **3.15.2. Evaluación de la conformidad**

Las normas no tienen valor hasta que se implementan de manera adecuada. ANSI promueve la evaluación de la conformidad, un proceso mediante el cual se

verifica que un producto, proceso, sistema, servicio o personal cumple con los requisitos establecidos por una norma específica.

Esta evaluación garantiza que un producto cumple con las normas para un uso seguro y eficiente. Además, brinda confianza a vendedores, compradores, reguladores, consumidores y fabricantes en la calidad y seguridad del producto.

La evaluación de la conformidad se lleva a cabo mediante:

- Muestreo
- Pruebas
- Inspecciones
- Certificaciones
- Evaluación y registro del sistema de gestión

### **3.15.3. El rol de ANSI en las normas internacionales**

En Estados Unidos, se utilizan normas voluntarias específicas para diversas aplicaciones, pero también existen normas internacionales que influyen en cómo las empresas estadounidenses operan globalmente.

ANSI representa a Estados Unidos en la Organización Internacional de Normalización (ISO), defendiendo los intereses de las empresas estadounidenses. Además, a través del Comité Nacional de EE.UU., ANSI también actúa como el representante estadounidense en la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

La ISO se encarga de desarrollar, coordinar y promover normas internacionales en todo el mundo, mientras que la CEI elabora y publica normas internacionales para el sector eléctrico y electrónico.

ANSI trabaja para promover la adopción de las normas estadounidenses en el ámbito internacional, apoyando a las empresas y políticas de EE.UU. Alienta a la ISO y a la CEI a incorporar las normas estadounidenses en sus estándares globales.

El Consejo de Acreditación de ANSI también es miembro de varias organizaciones internacionales, incluyendo:

- Foro Internacional de Acreditación
- Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios
- Cooperación para la Acreditación en Asia y el Pacífico
- Cooperación Interamericana de Acreditación (SAFESITE, 2020)

La **ANSI (American National Standards Institute)** es una entidad encargada de coordinar la creación de normas y estándares en Estados Unidos, abarcando aspectos relacionados con la puesta a tierra en sistemas eléctricos.

Aunque no publica directamente las normas, su función principal es facilitar y organizar el desarrollo de estas directrices a través de diversos comités técnicos y organizaciones especializadas. (American National Standards Institute, s.f.)

### **3.16. DESARROLLO Y COORDINACIÓN DE NORMAS POR ANSI**

#### **3.16.1. COORDINACIÓN Y FACILITACIÓN**

Actúa como un organismo de coordinación para el desarrollo de normas que aseguren la uniformidad y calidad en diversas áreas, incluyendo la ingeniería eléctrica. Su papel no es el de emitir directamente las normas, sino de supervisar el proceso a través del cual estas son elaboradas y revisadas por comités técnicos especializados.

#### **3.16.2. FUNCIONES PRINCIPALES DE ANSI:**

- **Coordinación de Normas:** ANSI facilita la creación de normas a través de la colaboración entre diversas organizaciones, incluyendo comités técnicos y grupos de expertos.
- **Acreditación:** las organizaciones acreditadas por ANSI pueden garantizar que sus procesos cumplan con estándares de calidad y equidad.
- **Publicación y Difusión:** aunque ANSI no publica directamente todas las normas, actúa como un recurso central para la información sobre estándares y normas aceptadas en Estados Unidos.

#### **3.16.3. NORMAS RELEVANTES PARA LA PUESTA A TIERRA**

La ANSI trabaja en estrecha colaboración con organizaciones como el **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)** para desarrollar normas

relacionadas con la puesta a tierra. A continuación, se destacan algunos de los estándares clave en esta área.

#### **3.16.3.1. ANSI/IEEE C2 - National Electrical Safety Code (NESC):**

- **Descripción:** el NESC, aprobado por ANSI y desarrollado por IEEE, establece las normas de seguridad para las instalaciones eléctricas de servicio público. Incluye directrices específicas para la puesta a tierra y el diseño de sistemas de aterrizaje en instalaciones eléctricas.
- **Alcance:** cubre la puesta a tierra de equipos eléctricos y la protección contra descargas atmosféricas y corrientes de falla.

#### **3.16.3.2. ANSI/IEEE 80 - IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding**

- **Descripción:** Esta guía, elaborada por IEEE y coordinada con ANSI, proporciona recomendaciones detalladas para el diseño y la instalación de sistemas de puesta a tierra en subestaciones de corriente alterna (AC).
- **Alcance:** Enfoca en la protección de personas y equipos en subestaciones eléctricas, abarcando aspectos como la selección de electrodos y el análisis de resistividad del suelo. (Grounding & ANSI/IEEE, 2013)

#### **3.16.3.3. ANSI/IEEE 142 - IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems**

- **Descripción:** Esta norma ofrece recomendaciones para el diseño de sistemas de puesta a tierra en instalaciones industriales y comerciales.
- **Alcance:** Se centra en la reducción de riesgos eléctricos y en mejorar la seguridad en entornos industriales y comerciales.

### **3.17. MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA**

Existen diversos métodos para la puesta a tierra de equipos eléctricos, entre los cuales se destacan:

#### **3.17.1. Con placa**

- **Descripción:** Consiste en enterrar una placa de cobre o hierro galvanizado a una profundidad aproximada de 2 metros en el suelo. Esta se conecta al

equipo a través de un conductor. Este método es adecuado para equipos de baja tensión y corrientes reducidas.

### **3.17.2. CON VARILLA (ELECTRODO)**

**Descripción:** Implica insertar verticalmente una varilla de cobre o hierro galvanizado en el suelo, la cual se conecta al equipo mediante un conductor.

La profundidad está determinada por la resistividad del suelo y la magnitud de la corriente de falla. Este método es más apropiado para equipos con corrientes más altas.

### **3.17.3. CON TUBERÍA**

- **Descripción:** consiste en colocar una tubería hueca de hierro galvanizado o cobre en el suelo en una posición vertical. Los equipos se conectan a la tubería a través de un conductor, y para mejorar la conductividad, el tubo se rellena con polvo de grafito y sal.

### **3.17.4. CON BANDAS O FLEJES**

- **Descripción:** este método consiste en enterrar horizontalmente una banda plana de cobre o hierro galvanizado a una profundidad de aproximadamente 0,5 metros. Un conductor conecta el equipo a la banda. La banda debe tener la longitud adecuada para proporcionar la resistencia necesaria a la tierra.

### **3.17.5. MALLA DE PUESTA A TIERRA**

- **Descripción:** el equipo se conecta a la tierra mediante un conductor mediante una malla conductora de cobre o aluminio. Este método funciona con corrientes pequeñas y equipos de baja tensión.

### **3.17.6. PUESTA A TIERRA CON COMPONENTES QUÍMICOS**

- **Descripción:** se emplea un compuesto químico para aumentar la conductividad del suelo. El compuesto se vierte en un agujero en el suelo, y se inserta un electrodo de cobre, que se conecta al equipo a través de un conductor. Este método es ideal para equipos con corrientes de falla elevadas.

Es fundamental seguir las normas y recomendaciones adecuadas de puesta a tierra para asegurar la seguridad y el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos.

### 3.18. DIFERENTES MATERIALES PARA LA PUESTA A TIERRA EN EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN

Es importante utilizar materiales que puedan soportar los altos niveles de tensión y corriente sin degradarse o fallar al poner a tierra los equipos. Algunos materiales comunes que pueden utilizarse para aterrizar equipos de alta tensión son:

- **Cobre:** es un excelente conductor de la electricidad y se utiliza ampliamente para la puesta a tierra de equipos de alta tensión. Puede soportar corrientes elevadas y es resistente a la corrosión, lo que lo convierte en una opción duradera.
- **Acero Galvanizado:** es una buena opción para la puesta a tierra en zonas con alta resistividad del suelo. Además, soporta corrientes elevadas y es resistente a la corrosión.

Cabe destacar que el acero galvanizado tiene una respuesta en función de la frecuencia diferente a la del cobre, donde la impedancia es alta para las sobretensiones de línea.

- **Acero con recubrimiento de cobre:** se compone de un núcleo de acero sobre el que se coloca una capa de cobre. Debido a que aprovecha la conductividad del cobre y la resistencia del acero, esta combinación de materiales es ideal para la puesta a tierra de equipos de alta tensión.
- **Aluminio:** es un material ligero y económico que suele utilizarse para la puesta a tierra de equipos de alta tensión. Sin embargo, no posee la misma conductividad del cobre y puede requerir un área de sección transversal mayor para compensar los mismos niveles de corriente. También tiene una respuesta de frecuencia diferente a la del cobre, donde la impedancia es alta para las sobretensiones de línea.

**Grafito:** es un material moderno que está ganando popularidad cuando se instalan equipos de alta tensión. Es muy conductor, ligero y resistente a la corrosión. También puede soportar niveles elevados de corriente.

A la hora de seleccionar materiales para la puesta a tierra de equipos de alta tensión, es importante tener en cuenta factores como la conductividad, la resistencia a la corrosión y la rigidez del material. El material adecuado debe elegirse en función de los requisitos específicos del equipo y del entorno circundante. (NOJA POWER, 2023)

### **3.18.1. CONECTORES Y ACCESORIOS DE TIERRA**

- **Características:** estos incluyen abrazaderas, terminales y conectores diseñados para proporcionar una conexión segura entre los cables de tierra y los equipos. Los materiales para estos accesorios varían, pero comúnmente incluyen aleaciones de cobre y acero inoxidable.
- **Uso:** se utilizan para asegurar la integridad de las conexiones a tierra y garantizar una conductividad adecuada. (Hammond, 2019)

## **CAPÍTULO IV: CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA SUBESTACIÓN**

### **4. GENERALIDADES**

#### **4.1 CÁLCULOS**

Todos los cálculos realizados en la siguiente sección corresponden a lo presentado en Std. IEEE 80 – 2000 “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”.

Se presentan los requerimientos técnicos y detalles constructivos necesarios, para garantizar la protección e integridad física, tanto de personas, como de los equipos instalados en la subestación, así como las normas técnicas que deben ser observadas para el diseño y construcción del sistema de puesta a tierra de la subestación.

Los diseños se realizan tomando en consideración: el área física disponible para la implantación de la subestación, las características del suelo con base a los valores de resistencia medidos en campo y los resultados de los cálculos de resistividades aparentes del terreno.

#### **4.2. CORRIENTE EN LA MALLA SUBESTACIÓN**

Para la corriente inyectada a la malla debe tenerse en cuenta la porción de la corriente de falla que circula por la malla, el efecto de la asimetría en la forma de onda de la corriente de falla y el incremento del valor con el crecimiento del sistema.

Esta se calcula así:

$$I_G = C\rho * Df * I_f$$

Donde:

$I_G$  = la corriente máxima inyectada a la malla [A].

$C\rho$  =factor de proyección de crecimiento para un sistema que no tiene crecimiento futuro.

$C\rho$  = 1.

$Df$  = variable que disminuye la duración total de la falla ( $t_f$ ).

$S_f$  = el factor de división de corriente es el porcentaje de corriente que disipa la malla a tierra y el resto regresa al sistema hasta que se despeja.

$I_f$  = Corriente de falla a tierra simétrica [ $rms$ ] Siendo:

La duración de la falla ( $t_f$ ); y, dependiendo del tipo de subestación a construir, se asume un tiempo de despeje de 1000  $ms$  IEEE 80 – 2000.

**Tabla 3**

La Asimetría De Los Valores Típicos De  $D_f$

Fault duration, $t_f$		Decrement factor, $D_f$			
Seconds	Cycles at 60 Hz	$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0.00833	0.5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,462	1,515
0,1	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,2	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,3	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,4	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,5	30	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

**Nota.** El sistema eléctrico en estudio tiene una resistividad de 14.14  $\Omega\cdot m$  y  $X/R = 10$ . Una tabla que muestra los datos de entrada y el cálculo de la corriente inyectada a la malla.

**Tabla 4**

Información Del Terreno

DATOS DEL TERRENO		
Descripción	Unidad	Valores
Lado mayor de la malla	$m$	92
Lado menor de la malla	$m$	69
Resistividad equivalente del terreno $\rho$	$\Omega m$	14.14
Resistividad capa superficial $\rho_s$	$\Omega m$	5000
Espesor capa superficial $h_s$	$m$	0,1
Área de la malla $A$	$m^2$	6348
Profundidad de la malla $h$	$m$	1
DATOS DE CONEXIÓN		
Descripción	Unidad	Valores
Tiempo de despeje de la falla $t_f$	seg	1,00
Temperatura máxima de operación (soldadura exotérmica)	$^{\circ}C$	450
Temperatura ambiente	$^{\circ}C$	40
DATOS DE CORRIENTE DE FALLA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE ENTRADA		
Descripción	Unidad	Valores
Corriente de falla a tierra $I_f$ lado AT	$A$	3974

Corriente de falla a tierra $I_f$ lado BT	A	11864
Relación XR del sistema	-	10
Factor de decremento $D_f$	-	1,0132
Corriente de diseño de los conductores (lado de mayor $I_f$ )	A	12020
Cantidad de torres de transmisión de la línea de (AT por Km $N_t$ )	-	20,00
Resistencia de puesta a tierra de las torres de ( AT $R_{gt}$ )	$\Omega$	15,0
Impedancia de los cables de guarda ( $Z_1$ )	$\Omega/\text{km}$	1,50
Cantidad de cables de guarda en la línea de ( AT $N_c$ )	-	1
Impedancia equivalente de los cables de guarda y torres $Z_{eg}$	$\Omega m$	1,0607
Factor divisor de corriente $S_f$ (depende de $R_g$ )	%	91,68 %
Corriente de diseño del espaciamiento $I_g$ (lado AT)	A A	3691

**Nota.** La presente tabla implica evaluar una variedad de detalles que garanticen la eficacia y seguridad de la instalación.

El enfoque de este análisis es el comportamiento de la malla cuando ocurre una falla a tierra, para ello es necesario tener en consideración factores como las particularidades del terreno, las corrientes de falla, las líneas de transmisión y las conexiones.

### 4.3. CÁLCULO DEL CONDUCTOR Y MALLA DE TIERRA

Cálculo del conductor de malla de tierra

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la sección transversal del conductor:

$$A_{mm^2} = I \frac{l}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c a_r p_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

Donde:

A = Sección del conductor ( $mm^2$ )

I = Corriente máxima de falla a tierra (KA)

t = Tiempo máximo de despeje de la falla en segundos

Tm = Temperatura máxima de fusión (450°C con soldadura)

Ta = Temperatura ambiente (°C)

TCAP = 0,000342

Resistividad del conductor a tierra = 1,78

A = 0,00381

**Tabla 5***Conductor de Malla Puesta a Tierra*

CÁLCULO DE CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA		
Descripción	Unidad	Valores
Corriente de diseño de los conductores	A	12.020
Sección transversal requerida del conductor	mm <sup>2</sup>	56,5
Temperatura máxima de operación	°C	450
Temperatura ambiente	°C	40
Tiempo de despeje de la falla	seg	1

**Nota.** Esta tabla busca proporcionar datos como material (tipo), las dimensiones, el porte de corriente y la resistencia mecánica de los conductores empleados en una malla de puesta a tierra. Para garantizar que la misma cumpla con las normas de seguridad y trabaje de manera óptima en caso de alguna falla eléctrica.

**Tabla 6***Calibre De Conductores*

Calibre del conductor	Área		Nº hilos	Diámetro de cada hilo	Diámetro exterior	Peso aproximado
	kcmil	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg/km
1/0	105,6	53,49	7	3,12	9,35	485
2/0	133,1	67,43	7	3,5	10,5	611
3/0	167,8	85,01	7	3,93	11,8	771
4/0	211,6	107,22	7	4,42	13,3	972
250	250	127	12	3,67	15,2	1149
300	300	152	12	4,02	16,7	1378
350	350	177	12	4,34	18	1610
400	400	203	19	3,69	18,5	1838

**Nota.** De acuerdo a la tabla de conductores y calibres se concluye que el conductor de cobre a usar en la malla de puesta a tierra será 4/0 AWG con diámetro exterior de 13,3 mm.

Por esfuerzos mecánicos el calibre mínimo de conductor en una malla de puesta a tierra es 4/0.

### 4.3. CÁLCULO DE LA RETÍCULA DE LA MALLA

Se presentan las longitudes iniciales del diseño de la malla de puesta a tierra

**Tabla 7**

*Medidas De Malla De Puesta A Tierra*

Medidas malla de puesta a tierra		
Lado mayor de la malla	<i>m</i>	92,0
Lado menor de la malla	<i>m</i>	69,0
Espacio entre conductores paralelos <i>d</i>	<i>m</i>	15,00
N° de conductores paralelos al lado mayor	-	6
N° de conductores paralelos al lado menor	-	5
Longitud total del conductor de la malla <i>L<sub>c</sub></i>	<i>m</i>	897,0

**Nota.** De acuerdo con la norma utilizada, la malla de puesta a tierra debe tener como límite externo de un (1) metro adicional desde el cerramiento del terreno de la subestación.

### 4.4. POTENCIAL MÁXIMO DE LA MALLA, GPR

La elevación de potencial máximo de la malla está dada por:

$$GPR = I_g * R_g$$

Donde  $R_g$  representa la resistencia de puesta a tierra de la malla en suelo homogéneo con composición horizontal y electrodos verticales, calculado a partir de las siguientes ecuaciones:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Donde:

$R_1$  = Resistencia de tierra de los conductores de la malla

$R_2$  = Resistencia de tierra de los electrodos de la malla

$R_m$  = Resistencia mutua entre el grupo de conductores y el grupo de electrodos

Resistencia de tierra de los conductores de la malla:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{L_1 \times L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$$

Resistencia de tierra de los electrodos de la malla:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n L_r} \left[ \ln \left( \frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 \times L_r}{\sqrt{A}} - (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right]$$

Resistencia mutua entre el grupo de conductores y el grupo de electrodos:

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{k_1 \times L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right]$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 8**

*Potencial Máximo de malla GPR*

ELECTRODOS		
Número de electrodos $N_r$	-	9
Diámetro de los electrodos a $2.b$	pulg	0,625
Longitud de los electrodos $L_r$	m	2,4
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA		
Resistencia de puesta a tierra $R_g$	$\Omega$	0,096
Resistividad $\rho\alpha$	$\Omega . m$	14,14
Resistencia de la malla $R_1$	$\Omega$	0,096
Resistencia de las jabalinas $R_2$	$\Omega$	0,669
Resistencia mutua $R_m$	$\Omega$	0,086
Coeficiente $K_1$	-	1,36
Coeficiente $K_2$	-	5,70
POTENCIAL MÁXIMO DE LA MALLA		
Potencial máximo de la malla <i>GPR</i>	V	355,45

**Nota.** Los electrodos a usar serán varillas 5/8 pulgadas, con una longitud de 2.4 metros y características 99% de pureza de cobre.

## 4.5. CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE TOQUE Y DE PASO

### 4.5.1 Cálculo de la tensión de toque

El voltaje de toque es obtenido como el producto del factor geométrico  $K_m$ , un factor correctivo  $K_i$ , la resistividad del terreno, y la corriente de falla promedio por unidad del valor efectivo de conductor de la malla de puesta a tierra.

$$E_m = \frac{\rho \times K_m \times K_i \times I_g}{L_M} = \pi r^2$$

El factor geométrico está dado por:

$$Km = \frac{1}{2x\pi} x \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16xhxd} + \frac{(D + 2xh)^2}{16xhxd} - \frac{h}{4xd} \right] + \frac{K_n}{K_h} x \ln \left[ \frac{8}{\pi(2xn - 1)} \right] \right]$$

Se considera  $K_i = 1$  para mallas de puesta a tierra con electrodos en los electrodos en las esquinas y dentro de la malla, caso de diseño actual.

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}}$$

El número efectivo de conductores (n) para una malla de puesta a tierra de forma rectangular o irregular viene dado por:

$$n = n_a x n_b n_c x n_d$$

Donde:

$$n_o = \frac{2xnL_c}{L_p}$$

Siendo,  $n_b, n_c, n_d = 1$ ; para mallas rectangulares.

El factor de corrección en función de n, viene dado por la siguiente ecuación:

$$K_l = 0.644 + 0.148xn$$

Para mallas con electrodos en las esquinas como también alrededor del perímetro y dentro de esta, la longitud efectiva  $L_m$ , está dada por:

$$L_M = L_c + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_{xy}^2}} \right) \right] L_R$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 9**

Tensión De Toque

CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE TOQUE		
Tensión de toque $E_m$	V	80,49
Resistividad del suelo $\rho$	$\Omega \cdot m$	14.14
Factor de espaciamento para tensión de toque $K_m$	-	0,975
Factor correctivo por geometría de la malla $K_i$	-	1,473
Máxima corriente de la malla $I_g$	A	3691
Longitud total del conductor de la malla $L_c$	m	897
FACTOR DE ESPACIAMIENTO PARA TENSIÓN DE TOQUE		
Factor de espaciamento para tensión de toque $K_m$	-	0,975
Espacio entre conductores paralelos $D$	m	15,00
Profundidad de la malla $h$	m	1
N° efectivo de conductores paralelos de la cuadrícula $n$	-	5,60
Diámetro del conductor de la malla $d$	m	0,0133
Factor correctivo del efecto de las jabalinas $K_i$	-	1,000
Factor correctivo por profundidad de los conductores $K_h$	-	1,414
FACTOR CORRECTIVO POR GEOMETRÍA DE LA MALLA		
Factor correctivo por geometría de la malla $K_i$	-	1,473

**Nota.** La evaluación de la seguridad de una instalación eléctrica se da a través de la aplicación de una tabla de cálculo de tensión de toque en una malla de puesta a tierra. La correcta aplicación de esta tabla ayuda a evitar el riesgo de electrocución, este valor debe mantenerse dentro de límites seguros.

#### 4.5.2 Cálculo de la tensión de paso

El voltaje de toque es obtenido como el producto de un factor geométrico  $K_s$ , un factor de corrección  $K_i$ , la resistividad del terreno, y la corriente de falla promedio por unidad del valor efectivo de conductor de la malla de puesta a tierra.

$$E_s = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_g}{L_s}$$

Para mallas con o sin electrodos, la longitud efectiva  $L_s$ , viene dada por:

$$L_s = 0.75 \times L_c + 0.85 \times L_R$$

Se asume que el voltaje de paso máximo ocurre iniciando a una distancia de 1 m y extendiéndose fuera del perímetro del conductor en el ángulo que divide la

esquina más extrema de la cuadrícula. Para profundidades de enterramiento habitual de  $0.25 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$ ,  $K_s$  es:

$$K_s = \frac{l}{\pi} \left[ \frac{1}{2xh} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 10**

*Tensión De Paso*

CÁLCULO DE TENSIÓN DE PASO		
Tensión de paso $E_s$	V	22,08
Resistividad del suelo $\rho$	$\Omega \cdot \text{m}$	14.14
Factor de espaciamiento para tensión de paso $K_s$	-	0,199
Factor correctivo por geometría de la malla $K_i$	-	1,473
Máxima corriente de la malla $I_g$	A	3.691
Longitud total del conductor de la malla $L_s$	m	691,1
FACTOR DE ESPACIAMIENTO PARA TENSIÓN DE PASO		
Factor de espaciamiento para tensión de paso $K_s$	-	0,199
Espacio entre conductores paralelos $D$	m	15,00
Profundidad de la malla $h$	m	1,00
Nº Efectivo de conductores paralelos de la cuadrícula $n$	-	5,60

**Nota.** La presente tabla contribuye en el cálculo del voltaje de paso en una malla de puesta a tierra permite evaluar la seguridad de la instalación.

#### 4.5.3. Límites de tensión de toque y de paso

La seguridad de una persona dependerá de prevenir que una descarga crítica de energía sea absorbida antes de despejar la falla y el sistema sea suspendido. Los voltajes críticos de toque y de paso no deberán exceder los límites planteados a continuación:

Para voltaje de toque para un cuerpo de peso 70 kg;

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Para voltaje de paso para un cuerpo de peso 70 kg;

$$E_{step70} = (1000 + 6 \cdot C_s \times \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}}{2h_s + 0.09}$$

$\rho_s$  = Resistividad del material de la capa superficial

$\rho$  = Resistividad del terreno

$t_s$  = tiempo de despeje de falla

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 11**

Tensiones Máximas Tolerables

TENSIONES TOLERABLES		
Tensión de toque tolerable $E_{touch70}$	V	970,10
Tensión de paso tolerable $E_{step70}$	V	3.409,41
Factor de reducción del terreno $C_s$	-	0,69

**Nota.** Comparando los voltajes de toque y de paso de la malla diseñada con los valores máximos tolerables tenemos:

Tensión de toque 8.30% de la tensión de toque tolerable

Tensión de paso 0.92% de la tensión de toque tolerable

Por lo tanto, el diseño considerado es *apropiado*, de acuerdo a las condiciones indicadas por IEEE 80 – 2000.

## CAPITULO V: RESISTIVIDAD DE TIERRA SUBESTACIÓN

### 5. RESISTIVIDAD DE TIERRA SUBESTACIÓN TAURA CAMARONEROS

#### 5.1. GENERALIDADES

La medición de resistividad del terreno es de vital importancia para la elaboración del diseño del sistema de puesta a tierra, el presente estudio muestra los resultados de las pruebas realizadas en las áreas donde se construirán la S/E LOS BANCOS.

Las pruebas fueron realizadas el día 12 de Julio del 2024, bajo condiciones climáticas adecuadas.

#### 5.2 DEFINICIONES

**Resistividad del suelo:** es la resistencia específica del suelo a ciertas profundidades, está se la obtiene de manera indirecta al ejecutar unas pruebas de campo. Sus unidades de acuerdo al SI son  $\Omega$ -m.

**Resistividad eléctrica:** la resistividad eléctrica es un rasgo de un material que indica cuán difícil es para una sustancia específica conducir corriente eléctrica. La capacidad de un material para conducir electricidad se conoce como su resistencia.

**Electrodo:** es un conductor que se pone en íntimo contacto con el suelo, para que exista una conexión eléctrica directa con el terreno. Los electrodos pueden ser varillas, cables o mallas.

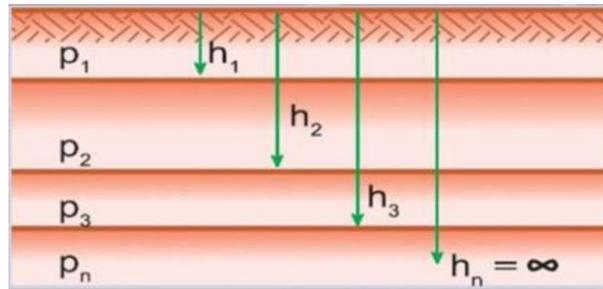
#### 5.3. ASPECTOS TÉCNICOS

##### 5.3.1. SUELO

El suelo es por naturaleza heterogéneo, varía de acuerdo con su composición o por las condiciones del medio, existen diferentes formas de clasificarlos, pero no se puede definir una resistividad específica para cada tipo de suelo, por ello se realizan las mediciones de resistividad.

**Figura 8**

*Esquema De Capas Con Diferentes Resistividades*



**Nota.** La resistividad del terreno no solo varía por el tipo de suelo, sino también por factores como la temperatura, composición, contenido de sales y la compactación (IEEE 80-2000). La resistividad del suelo está principalmente en función de la profundidad, puede darse el caso que, a distinta capa de suelo, la resistividad sea diferente. Tomado de “Esquema de capas”, [Imagen], (Orozco Bernal, INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA, 2015).

## CAPITULO VI: MECANISMOS A EMPLEARSE

### 6.1. METODOLOGÍA

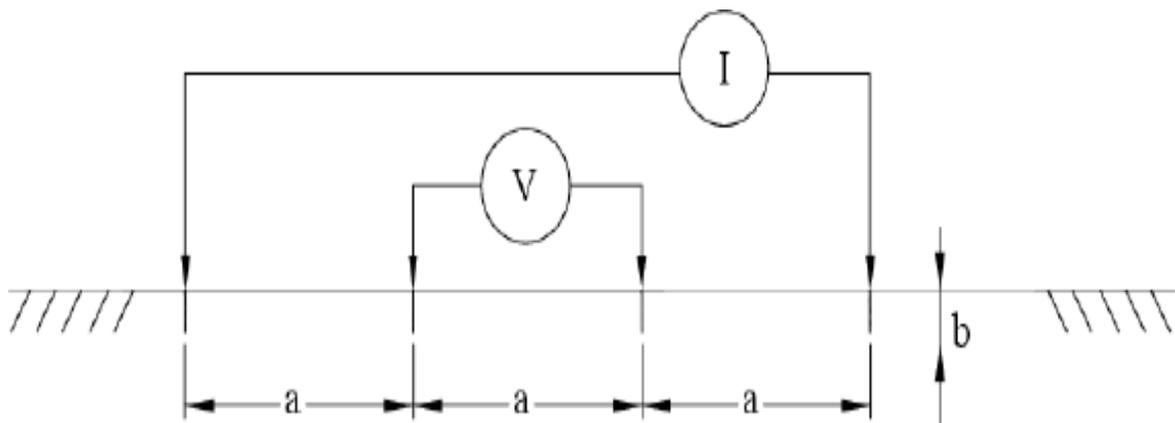
Existen diferentes métodos para realizar la medición de la resistividad del suelo, la variación radica en la interpretación de los datos debido al terreno, ya que existen suelos con resistividades no uniformes. Las diversas técnicas son descritas en Std. IEEE 80-2000.

### 6.2. MÉTODO DE WENNER

El método de Wenner o de las 4 picas, permite obtener resistividades del terreno para varias capas, sin necesidad de enterrar las picas o electrodos a grandes profundidades. (Martínez Solís, 2011)

**Figura 9**

*Diagrama Del Método De Wenner*



**Nota.** Diagrama del método de Wenner. Tomado de “Método de Wenner”, [Imagen], por KINERGY, (<https://www.kin.energy/blogs/post/sistema-de-puesta-a-tierra.-un-caso-pr%C3%A1ctico>).

### 6.3. PROCEDIMIENTO

Colocar las picas en cuatro posiciones diferentes en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados una distancia “a” en línea recta.

La corriente de prueba  $I$  se inyecta entre los electrodos externos y se mide la diferencia de potencial entre los electrodos internos. El equipo mide la resistencia y la resistividad se la obtiene de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Cuando la distancia de separación entre picas es mayor a la profundidad a la que se entierra la pica (electrodo) se usa la fórmula simplificada

$$\rho = 2\pi aR$$

#### 6.4. PROTOCOLO DE PRUEBA

- Determinar la zona de pruebas
- Definir los perfiles de las mediciones
- Definir las distancias “a” donde se estarán los electrodos de prueba alineados.
- Disponer los equipos de medición de resistencia
- Tomar de lectura y registro en una tabla de datos

**Tabla 12**

*Tabla De Protocolos de Pruebas*

Separación “a”	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Perfil 4	
	Resistencia	Resistividad	Resistencia	Resistividad	Resistencia	Resistividad	Resistencia	Resistividad

**Nota.** Tabla en la que detallan los perfiles, resistencia y resistividad a fin de dar seguimiento a los protocolos de prueba.

#### 6.5. PRUEBA DE RESISTIVIDAD SUBESTACIÓN LOS BANCOS

**Tabla 13**

*Tabla De Prueba De Resistividad De La Subestación Los Bancos*

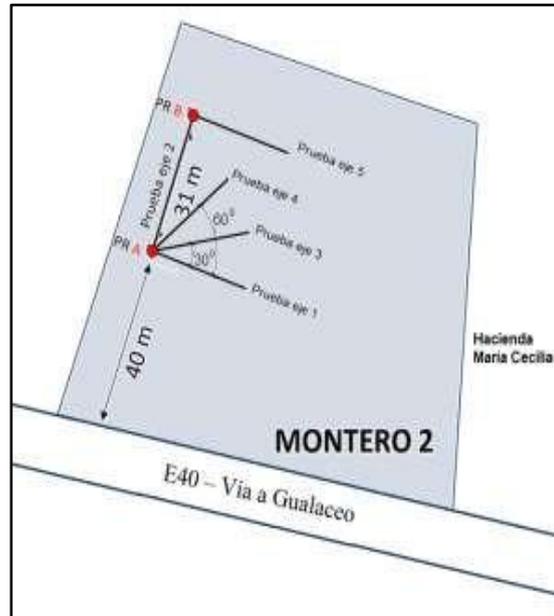
INFORMACIÓN GENERAL - S/E LOS BANCOS		
<b>Fecha</b>	12/07/2024	
Coordenadas (Inicial)	X: 651883	Y: 9751042
Condición de terreno	Húmedo, vegetal, sector bananero	
Equipo de prueba	AEMC Ground Tester 6470	

**Nota.** Tabla en la que detallan la información general, fechas, coordenadas (puntos de partida), las condiciones del terreno, los diferentes equipos a emplearse a fin de la utilización de equipos de prueba.

## 6.6. LUGAR EN ESTUDIO SECTOR MONTERO 2

**Figura 10**

*Lugar De Estudio-Sector Montero*



**Nota.** El gráfico representa la elección del espacio adecuado para acoplar una malla eléctrica.

## 6.7. PUNTOS GEOREFERENCIADOS EN COORDENADAS UTM DE LOS PERFILES

**Tabla 14**

*Coordenadas UTM De Los Perfiles*

TERRENO	REFERENCIAS	COORDENADAS UTM	
		X	Y
MONTERO	PR-A	17M 651883	9751042
	PR-B	17M 651892	9751072

**Nota.** Para una malla eléctrica, la tabla de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) ayudará a determinar la ubicación exacta de los puntos de interés en el terreno donde se instalará la malla a tierra.

## 6.8. RESULTADOS

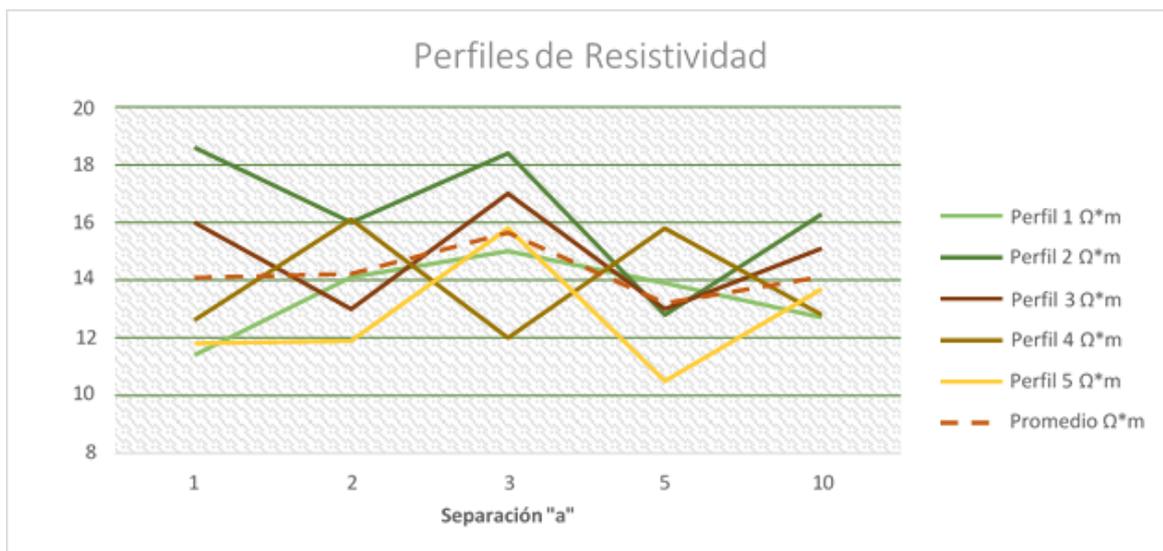
Separación "a"	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Perfil 4		Perfil 5		Promedio		Varianza
	$\Omega$	$\Omega^*m$	$\Omega^*m$										
1	1.82	11.4	2.96	18.6	2.54	16	2.01	12.6	1.88	11.8	2.242	14.08	7.74
2	1.12	14.1	1.27	16	1.04	13	1.28	16.1	0.95	11.9	1.132	14.22	2.72
3	0.8	15	0.98	18.4	0.9	17	0.64	12	0.84	15.8	0.832	15.64	4.63
5	0.51	13.9	0.41	12.8	0.41	13	0.5	15.8	0.33	10.5	0.432	13.2	2.95
10	0.2	12.7	0.26	16.3	0.24	15.1	0.2	12.8	0.24	13.7	0.228	14.12	1.93

**Nota.** Se usa la fórmula simplificada debido a que la distancia de separación entre electrodos es mayor a la profundidad de las picas.

## 6.9. GRÁFICOS

**Figura 11**

*Perfiles De Resistividad Para Ejes De Medición LOS BANCOS*

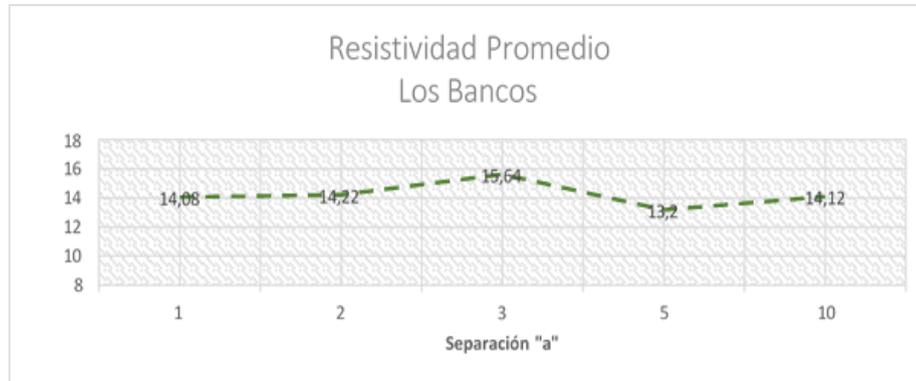


**Nota.** El gráfico de perfil de resistividad para ejes de medición se utiliza en geofísica e ingeniería a fin de representar la variación de la resistividad eléctrica en el suelo o en un material específico a lo largo de un eje o línea de medición.

La exploración geotécnica, la evaluación de la calidad del suelo y el diseño de sistemas de puesta a tierra son algunas de las aplicaciones en las que esta técnica es esencial.

**Figura 12**

*Resistividad Promedio*



**Nota.** La resistencia promedio de una malla eléctrica, como en un sistema de puesta a tierra, es la resistencia que presenta el suelo o el material en el que se instala la malla. Este valor es crucial para que la malla disipe correctamente la corriente eléctrica y proteja el sistema eléctrico de fallas.

## **CAPÍTULO VII ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS 1**

La resistividad del terreno varía de acuerdo con factores como: humedad, temperatura o sales disueltas. El terreno en estudio es constantemente humedecido y fertilizado, debido a la constante producción bananera del sitio en estudio.

La resistividad del terreno presenta variaciones en un rango desde 13,20 a 15,64  $\Omega$ -m, resistividad característica de terrenos vegetales húmedos, correspondiente a lo presenciado en sitio. La resistividad se mantiene relativamente constante para cada perfil medido. Estos perfiles utilizados para la medición fueron delimitados en tales sentidos que puedan dar una mayor comprensión de la resistividad en el área de estudio.

Los valores de resistencia del terreno en los diferentes perfiles no varían considerablemente, teniendo una variación de 4.63  $\Omega$ -m, a 3 m de profundidad, por este motivo se puede concluir que el terreno es casi homogéneo en su extensión del área de estudio en ejes X - Y (ancho y largo).

Siendo que la separación entre electrodos nos da la resistividad del terreno a una profundidad igual a esta separación 'a', se puede observar que la resistividad del terreno no mejora considerablemente a medida que aumenta la profundidad de las capas de terreno, por lo cual se considera que el terreno es homogéneo en sentido del eje Z (profundidad).

### **7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 2**

La resistividad del terreno varía de acuerdo con factores como humedad, temperatura o sales disueltas. El terreno en estudio es húmedo en su totalidad, actualmente se encuentran piscinas de agua para la cría de camarones en todo el sector por la presencia de camaroneras.

La medición fue realizada en los caminos laterales a las piscinas, la resistividad del terreno presenta un rango desde 14,48 a 2.28  $\Omega$ -m. Se observa valores homogéneos en los diferentes perfiles a los mismos valores de profundidad de la medición. El gradiente de resistividad del terreno es alto, se presenta una

resistividad baja para una distancia de 10 m comparada con la medición inicial, el comportamiento indicado es el mismo para cada perfil medido.

### **7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se observa que la resistividad de ambos terrenos presenta valores homogéneos a igual valores de profundidad en los diferentes ejes. Esto nos indica una composición química similar en los diferentes estratos o capas, lo cual ayuda al diseño del sistema de puesta a tierra.

En el sitio Montero 2, se observó que, al ser un área de plantación bananera, no se requiere de mucho relleno y nivelación de terreno, sin embargo, en el sitio Taura, que es una hacienda camaronera, el terreno deberá ser rellenado, nivelado y compactado, por lo cual se recomienda utilizar tierra de similar característica a la usada en la construcción de los accesos laterales a las piscinas de camarón.

Se recomienda, para fines de diseño de la malla de tierra, utilizar valores promedios de la resistencia, así:

Subestación LOS BANCOS:      14.14  $\Omega$ -m

## 8. ANEXOS

### 8.1. LUGAR DE MEDICIÓN DEL TERRENO



## 8.2. HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO



### 8.3. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO



## 9. BIBLIOGRAFÍA

(INEN), C. E., (NEC), N. E., & (INEN), I. E. (2020).

American National Standards Institute. (s.f.). Obtenido de <https://www.ansi.org/about-ansi>.

Aplicaciones-Tecnológicas. (11 de Julio de 2024). *Qué es la resistividad del terreno y por qué es necesario un estudio geoeléctrico*. Obtenido de <https://at3w.com/blog/que-es-la-resistividad-del-terreno-y-por-que-es-necesario-un-estudio-geoelectrico/>

Barragan, R. (2020). *Generacion de energia electrica para el desarrollo industrial en el ecuador a partir de energias renovables*. Quito: Universidad internacional SEK.

Beltrán Espinoza, D. F., & Luna López, E. G. (septiembre de 2023). Diseño de un sistema puesta a tierra para aplicación en una industria utilizando la normativa IEEE 80 – 2000. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.

Cadena-Iñiguez, P., Rendón-Medel, R., Aguilar-Ávila, J., Salinas-Cruz, E., De la Cruz-Morales, F. d., & Dora Ma. Sangerman-Jarquín, D. M. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. 8(7). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

Conejo, J., Arroyo, J., Milano, F. C., Polo, J., Garcia, R. C., Lopez, L., & Clamagirand, A. (2007). *Instalaciones Electricas*. España: Universidad de Castilla-La Mancha.

Cordero Vázquez, C. Y. (2018). Caracterización geoquímica y geofísica de suelos agrícolas en el área de Cerrito Blanco, Matehuala, San Luis Potosí. México: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. Obtenido de <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1909/1/TMIPICY TC6C32018.pdf>

- Corona Lisboa, J. L. (2018). INVESTIGACIÓN CUALITATIVA: FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS, TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS. *VIVAT ACADEMIA*, 69-76. doi:<https://doi.org/10.15178/va.2018.144.69-76>
- Díaz, P. (2001). Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución. McGraw-Hill,.
- FLUKE. (2024). Comprobación de la impedancia del electrodo de conexión a tierra en edificios comerciales, industriales y residenciales. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/electrica/comprobacion-de-la-impedancia-del-electrodo-de-conexion-a-tierra-en-edificios-comerciales-industriales-y-residenciales>
- Gómez Aguilar, P. M. (2010). Diseño y construcción . Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/405/13/UPS-CT001929.pdf>
- Gómez Aguilar, P. M. (2010). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUESTAS A TIERRA PARA EL COLEGIO TECNICO INDUSTRIAL GUALACEO, BASADO EN LAS RECOMENDACIONES PRACTICAS PARA EL ATERRIZAMIENTO EN SISTEMAS ELECTRICOS COMERCIALES E INDUSTRIALES DE LA IEEE. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Gómez Aguilar, P. M. (2010). *Diseño y construcción de puestas a tierra para el Colegio Técnico industrial Gualaceo, basado en las recomendaciones prácticas para el aterrizamiento en sistemas eléctricos comerciales e industriales de la IEEE*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Gómez Aguilar, P. M. (s.f.). Diseño y construcción de puestas a tierra para el Colegio Técnico Industrial Gualaceo, basado en las recomendaciones prácticas para el aterrizamiento en sistemas eléctricos comerciales e industriales de la IEEE.
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. (2013). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *81(184)*,

158-163. Recuperado el 20 de Agosto de 2024, de <http://dyna.medellin.unal.edu.co/>

Grounding, E. G., & ANSI/IEEE. (2013).

Guarnizo Jiménez, J. F. (2015). IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPOS EN LA BASE DE LA TORRE 2 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5 MHz". Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18222/1/Guarnizo%20Jim%C3%A9nez%2C%20Jonathan%20Fernando.pdf>

Guevara Albán, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). Los Ríos, Ecuador: Saberes del Conocimiento. doi:10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

Hammond, G. (2019). *Electrical Grounding and Bonding Handbook*. Routledge.

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Batista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. España: Mc Graw Hill.

INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA (2015).

Intagri. (2024). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. <https://www.intagri.com/>.

Lavín, A. F., & Zurita, C. C. (2023). PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: GEOTECNIA Y CIMENTACIONES. *REVISTA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS (RIIE)*, 28(1). doi:<https://doi.org/10.24133/riie.v28i1.2964>

Martínez Solís, J. M. (2011). MÉTODO DE ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD DEL SUELO SUELO SEGÚN NORMATIVA IEEE-81-1983. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/2141/1/91851.pdf>

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO DE VIVIENDA. (2018). Norma Ecuatoriana de la Construcción-Instalaciones Eléctricas.

Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda. (2013). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN- Instalaciones Electromecánicas*.

Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda. (2017). *Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda*; Obtenido de Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda;: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PREGUNTAS-Y-RESPUESTAS.pdf>

NOJA POWER. (2023). *NOJA POWER*. Obtenido de Fundamentos de la puesta a tierra en equipos de alta tensión: <https://www.nojapower.es/expertise/2023/fundamentals-of-high-voltage-equipment-earthing-es>

Orozco Bernal, C. (2015). *INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71398872.pdf>

Pro-Cobre. (s.f.). *Sistemas de puesta a tierra. 119*. Chile. Obtenido de [www.procobre.org](http://www.procobre.org)

Ramírez Jorge. (2018). Obtenido de <https://www.planarquitecto.com/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. doi:<https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>

Rojas, G. (2007). *Manual de sistemas puestas a tierra*. Venezuela: GOGEDISA. Obtenido de [https://gedisa.com.ve/recientes\\_aun/catalogos/electricos/libreria\\_gediweld/libreria/05%20APENDICE%20GLOSARIO%20GEDIWELD%202007.pdf](https://gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/05%20APENDICE%20GLOSARIO%20GEDIWELD%202007.pdf)

Saavedra Laines, H. W., & Carranza Montenegro, D. (2020). *Diseño de un sistema de puesta a tierra tipo malla para la protección eléctrica de la estación de bombeo de aguas ácidas-minera Yanacocha*. Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo.

SAFESITE. (2 de Febrero de 2020). Obtenido de <https://safesitehq.com/es/ansi/>

Sanz A., J. H., & Gómez Estrada, S. (2010). La resistividad del suelo en función de la frecuencia. *Scientia Et Technica*.

Substations Committee of the IEEE Power Engineering Society. (2000). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. New York, United States: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Obtenido de <https://www.academia.edu/7673047>



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, García Rivas Rangel Abdías con C.I. **120338155-1** & Vera Vera José Andrés con C.I. **120598775-1** autores del trabajo de titulación: **ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR MEDIO DE SOFTWARE CYMGRD PARA ATERRIZAR LOS EQUIPOS PRIMARIOS DE UNA SUBESTACIÓN 20 MVA DE 69/13.8 KV UBICADA EN EL SECTOR LOS BANCOS DEL CANTÓN YAGUACHI**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de junio de 2024

EL AUTOR 1:

EL AUTOR 2:

f.: \_\_\_\_\_  
García Rivas Rangel Abdías  
C.I. 1203381551

f.: \_\_\_\_\_  
Vera Vera José Andrés  
C.I. 1205987751



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	<b>ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR MEDIO DE SOFTWARE CYMGRD PARA ATERRIZAR LOS EQUIPOS PRIMARIOS DE UNA SUBESTACIÓN 20 MVA DE 69 /13.8 KV UBICADA EN EL SECTOR LOS BANCOS DEL CANTÓN YAGUACHI.</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	GARCÍA RIVAS RANGEL ABDÍAS/ VERA VERA JOSÉ ANDRÉS		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	BONILLA SÁNCHEZ RONNIE ALEXANDER		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Electricidad		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Eléctrico		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	18 de junio del 2024	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	81
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Modelado de un sistema puesta a tierra, análisis de la puesta a tierra y electrodos, simulación y resultados del sistema CYMGRD, normas técnicas, cumplimientos regulatorios, impacto del sistema eléctrico.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Sistema de puesta a tierra, subestación eléctrica, CYMGRD, 20 MVA, 69/13.8 kV, características geotécnicas, resistividad del suelo, seguridad personal.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El diseño y el análisis de un sistema de puesta a tierra para una subestación eléctrica de 20 MVA en el sector LOS BANCOS del cantón Yaguachi, que opera a 69/13.8 kV, son el tema de este estudio. El objetivo de la investigación es modelar y optimizar un sistema de aterrizaje utilizando el software CYMGRD para ofrecer una protección efectiva contra fallas eléctricas y descargas atmosféricas.</p> <p>Se llevará a cabo una evaluación completa de las características geotécnicas del terreno para mejorar el diseño del sistema. Esto incluirá mediciones precisas de la resistividad del suelo. Para garantizar que el sistema cumpla con las normas nacionales e internacionales pertinentes, esta evaluación permitirá simular una variedad de condiciones operativas y de falla.</p> <p>La simulación con CYMGRD permitirá modelar y comprobar el desempeño del sistema en una variedad de escenarios operativos y de fallas, garantizando el cumplimiento de las normativas locales e internacionales.</p> <p>Este método asegurará la protección adecuada de los equipos, la seguridad del personal y la continuidad del servicio eléctrico.</p> <p>Además, el estudio analizará los efectos del sistema de puesta a tierra en un entorno cercano, considerando posibles repercusiones en un extenso tiempo debido al estudio del análisis.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO AUTOR/ES:</b>	<b>CON</b>	<b>Teléfono:</b> +593962560733 +593-968739361	<b>E-mail:</b> rrangar1972@gmail.com/joseandresveera12@hotmail.com
<b>CONTACTO INSTITUCIÓN (COORDINADOR PROCESO UTE):</b>	<b>CON LA DEL</b>	<b>Nombre: Bonilla Sánchez Ronnie Alexander</b>	
		<b>Teléfono: +593990705653</b>	
		<b>E-mail: ronnie.bonilla@cu.ucsg.edu.ec</b>	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			